

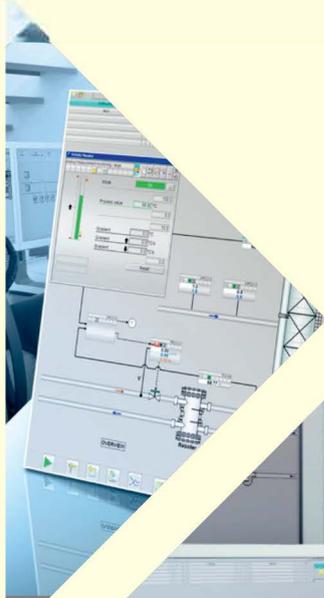
ISSN online 2658-6436

№ 4 (10)
2020

Научно-технический журнал

Автоматизация и моделирование

в проектировании и управлении



АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ



В проектировании и управлении

Издается с 2018 года

№ 4(10), 2020

Сетевое издание

Выходит 1 раз в квартал

Учредитель издания – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Брянский государственный технический университет» (БГТУ)

Председатель редакционного совета – Сигов А.С., д-р. физ.-мат. наук, проф., академик РАН

Заместитель председателя редакционного совета – Аверченков А.В., д-р. техн. наук, доц.

Заместитель председателя редакционного совета – Федонин О.Н., д-р. техн. наук, проф.

Бобырь М.В., д-р. техн. наук, проф. (Курск)

Бочкарев П.Ю., д-р. техн. наук, проф. (Саратов)

Долгов Ю.А., д-р. техн. наук, проф. (Тирасполь)

Еременко В.Т., д-р. техн. наук, проф. (Орел)

Ивашук О.А., д-р. техн. наук, проф. (Белгород)

Карпенко А.П., д-р. физ.-мат. наук, проф. (Москва)

Квятковская И.Ю., д-р. техн. наук, проф. (Астрахань)

Кравец А.Г., д-р. техн. наук, проф. (Волгоград)

Курейчик В.В., д-р. техн. наук, проф. (Таганрог)

Ланцов В.Н., д-р. техн. наук, проф. (Владимир)

Носков С.И., д-р. техн. наук, проф. (Иркутск)

Пестер А., д-р. техн. наук, проф. (Австрия)

Петрешин Д.И., д-р. техн. наук, проф. (Брянск)

Подвесовский А.Г., канд. техн. наук, доц. (Брянск)

Пылькин А.Н., д-р. техн. наук, проф. (Рязань)

Скрыпников А.В., д-р. техн. наук, проф. (Воронеж)

Соснин П.И., д-р. техн. наук, проф. (Ульяновск)

Феофанов А.Н., д-р. техн. наук, проф. (Москва)

Хейфец М.Л., д-р. техн. наук, проф. (Белорусь)

Чепчуров М.С., д-р. техн. наук, проф. (Белгород)

Шептунов С.А., д-р. техн. наук, проф. (Москва)

Ярушкина Н.Г., д-р. техн. наук, проф. (Ульяновск)

Редколлегия

Главный редактор – Аверченков В.И. д-р. техн. наук, проф.

Зам. главного редактора – Захарова А.А. д-р. техн. наук, доц.

Зам. главного редактора – Подвесовский А.Г. канд. техн. наук, доц.

Ответственный секретарь – Кузьменко А.А. канд. биол. наук

Корректор – Андросов К.Ю.

Адрес редакции:

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

тел.: (4832) 56-49-90

Адрес размещения: <https://aimpu.ru>

E-mail: aim-pu@mail.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-73848 от 05 октября 2018 года

ISSN online: 2658-6436

Журнал включен в специализированный референтный библиографический сервис CrossRef

Журнал публикует основные результаты научных исследований по группам специальностей:

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

05.13.12 – Системы автоматизации проектирования

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

© Брянский государственный технический университет, 2020

AUTOMATION AND MODELING

SCIENTIFIC TECHNICAL
JOURNAL



in design and management

Issued since 2018

№ 4(10), 2020

Online edition

Published once a quarter

The founder of the publication—the Federal state budgetary educational
institution of higher education
«Bryansk State Technical University» (BSTU)

Chairman of Editorial Board – **Sigov A.S.**, *D. Phys.-Mat., Professor, Academician of RAS*

Deputy Chairman of Editorial Board – **Averchenkov A.V.**, *D. Eng., Associate professor*

Deputy Chairman of the editorial Board – **Fedonin O.N.**, *D. Eng., Professor*

M.Yu. Bobyr, *D. Eng., Prof., (Kursk)*

P.Yu. Bochkaryov, *D. Eng., Prof., (Saratov)*

Yu.A. Dolgov, *D. Eng., Prof., (Tiraspol)*

V.T. Yeremenko, *D. Eng., Prof., (Orel)*

O.A. Ivashchuk, *D. Eng., Prof., (Belgorod)*

A.P. Karpenko, *D. Phys.-Mat., Prof., (Moscow)*

I.Yu. Kvyatkovskaya, *D. Eng., Prof., (Astrakhan)*

A.G. Kravets, *D. Eng., Prof., (Volgograd)*

V.V. Kureichik, *D. Eng., Prof., (Taganrog)*

V.N. Lantsov, *D. Eng., Prof., (Vladimir)*

S.Yu. Noskov, *D. Eng., Prof., (Irkutsk)*

A. Pester, *D. Eng., Prof., (Austria)*

D.I. Petreshin, *D. Eng., Prof., (Bryansk)*

A.G. Podvesovskiy, *Can. Eng., Assoc. Prof. (Bryansk)*

A.N. Pylkin, *D. Eng., Prof., (Bryansk)*

A.V. Skrypnikov, *D. Eng., Prof., (Voronezh)*

P.I. Sosnin, *D. Eng., Prof., (Ulyanovsk)*

A.N. Feofanov, *D. Eng., Prof., (Moscow)*

M.L. Kheifets, *D. Eng., Prof., (Minsk, Belarus)*

M.S. Chepchurov, *D. Eng., Prof., (Belgorod)*

S.A. Sheptunov, *D. Eng., Prof., (Moscow)*

N.G. Yarushkina, *D. Eng., Prof., (Ulyanovsk)*

Editorial board

Editor-in-Chief – **Averchenkov V.I.** *D. Eng., Prof.,*

Deputy Editor-in Chief – **Zakharova A.A.** *D. Eng., Assoc. Prof.*

Deputy Editor-in Chief – **Podvesovskiy A.G.** *Can. Eng., Assoc. Prof.*

Executive Secretary – **Kuzmenko A.A.** *Can. Biol. Sc.*

Corrector – **Androsov K.Yu.**

Address of edition 7, 50 Years of October Avenue,
Bryansk, Russia, 241035

Tel.: (4832) 56-49-90

Accommodation address: <https://aimpu.ru>

E-mail: aim-pu@mail.ru

The Journal is registered by the Federal
Service for Supervision in the Sphere of Telecom,
Information Technologies and Mass Communications
of Russian Federation (ROSKOMNADZOR).
Registration certificate ЭЛ № ФЦ77-73848 of October 05, 2018

ISSN online: 2658-6436

Journal is included in a specialized consultant bibliographical service CrossRef

Reprinting, all kinds of material copying and reproduction of materials published in the journal “Automation and modeling in design and management” is allowed only with the Editorial Board’s permission and a reference to the source of information

© Bryansk State Technical University, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

- Будак В.П., Ильина Е.И.** Классификация линз по типу светового пятна с помощью нейронной сети 4
Будак В.П., Мешкова Т.В. Качество освещения при моделировании осветительных установок в программах компьютерной графики 15
Желтов В.С., Чембаев В.Д. Расчет UGR на основе пространственно-углового распределения яркости 25

Управление в социальных и экономических системах

- Копелиович Д.И., Сафонов А.Л., Кондратенко Р.В.** Применение методов искусственного интеллекта в 3D-тренажерах на основе функционально-логических моделей 33

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

- Белейченко А.С., Аверченков В.И.** Особенности проектирования автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом 40
Титарёв Д.В., Сериков А.Г., Кривцанов С.О. Архитектура программного комплекса управления ремонтами и техническим обслуживанием для сервисного предприятия 53
Прусс Б.Н., Романов В.А., Прозоров Я.С., Плескачева О.Ю. Компьютерное моделирование конструкции ограждений лесосушильных камер, сокращающих теплопотери 60

CONTENTS

Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

- Budak V.P., Ilyina E.I.** Lens classification according to the type of light spot using a neural network
Budak V.P., Meshkova T.V. The quality of lighting in the modelling of lighting installations in computer graphics programs
Zheltov V.S., Chembaev V.D. UGR calculation based on the luminance spatial-angular distribution

Management in social and economic systems

- Kopeliovich D.I., Safonov A.L., Kondratenko R.V.** Application of artificial intelligence methods in 3D simulators based on functional and logical models

Automation and control of technological processes and production, automated design systems

- Beleychenko A.S., Averchenkov V.I.** Design features of the automatized management system' development for a tourist and recreational complex
Titaryov D.V., Serikov A.G., Krivtsanov S.O. Architecture of the repair and maintenance management software for a service enterprise
Pruss B.N., Romanov V.A., Prozorov Y.S., Pleskacheva O.U. Computer modeling of the structure of forest drying chambers, reducing heat loss

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

УДК: 628.987

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-4-14

В. П. Будак, Е.И. Ильина

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНЗ ПО ТИПУ СВЕТОВОГО ПЯТНА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье рассматривается вопрос классификации линз с различными углами излучения и предложена шкала, описывающая концентрацию света в зависимости от осевой силы света. Собрана коллекция около 800 изображений реальных и смоделированных световых пятен линз существующих линз и рефлекторов с различными светодиодами и светодиодными матрицами. Построена модель классификации на базе предварительно обученной сверточной нейронной сети GoogleNet, проведено трансферное обучение с использованием коллекции изображений световых пятен. GradCAM анализ показал, что обученная сеть корректно выделяет признаки объектов. Проведенная работа позволяет классифицировать произвольные световые пятна с точностью около 80 %. Таким образом, решена задача классификации линз с симметричным светораспределением, что важно для специалистов, занимающихся световым дизайном и не имеющим светотехнического образования. Новая модель позволяет по произвольному изображению светового пятна определять класс линзы и ее технические параметры, что существенно облегчит дизайнерам поиск нужного светового прибора при создании световой сцены.

Ключевые слова: классификация световых приборов, глубокие сверточные нейронные сети, светодизайн, психофизика восприятия.

V.P. Budak, E. I. Ilyina

LENS CLASSIFICATION ACCORDING TO THE TYPE OF LIGHT SPOT USING A NEURAL NETWORK

The article proposes the classification of lenses with different symmetrical beam angles and offers a scale as a spot-light's palette. A collection of spotlight's images was created and classified according to the proposed scale. The analysis of 788 pcs of existing lenses and reflectors with different LEDs and COBs carried out, and the dependence of the axial light intensity from beam angle was obtained. A transfer training of new deep convolutional neural network (CNN) based on the pre-trained GoogleNet was performed using this collection. GradCAM analysis showed that the trained network correctly identifies the features of objects. This work allows us to classify arbitrary spotlights with an accuracy of about 80 %. Thus, light designer can determine the class of spotlight and corresponding type of lens with its technical parameters using this new model based on CCN.

Keywords: LED luminaires classification, deep convolutional neural networks, lighting design, psychophysics of perception.

1. Введение

В архитектурном освещении используют такие характеристики как мягкое/контрастное и яркое/приглушенное освещение. Дизайнеры оперируют шкалами ощущений и восприятия света. В светотехнике, напротив, световые приборы (СП) характеризуются техническими параметрами такими как: угол излучения (*FWHM*), осевая сила света (I_0) и

форма кривой силы света (КСС). В реальности человеческий глаз видит не КСС и технические параметры, а световое пятно, создаваемое СП. Поэтому перечисленные характеристики дизайнеры используют редко и подбирают решение исходя из художественного восприятия световой сцены. Выявление взаимоотношений между физическими и воспринимаемыми величинами стимула относится к области задач психометрического шкалирования.

В дизайне для работы с цветом широко применяются цветовые координатные системы (ЦКС). Например, с помощью манселловской системы можно подбирать диапазон цветов с постоянным цветовым тоном или постоянной светлотой или к некоему цветовому тону подобрать дополнительный. Основа ЦКС - расположение цветов по заданному порядку, что облегчает дизайнерам выбор нужных образцов. Как было отмечено выше, световое пятно – это один из важных параметров, влияющих на восприятие света и один из главных инструментов построения световой среды у дизайнера. Вернемся к идее ЦКС, важным является тот факт, что она позволяют точно указывать производителям, какой цвет материала дизайнеры хотят использовать в данном проекте.

Цель данной работы заключается в построении модели на базе нейронной сети, которая помогала бы светодизайнеру, переводить восприятие светового пятна в светотехническую метрику. Такая задача относится к типу задач психофизического шкалирования и не имеет точного решения. Для решения данной задачи требуется построить модель, позволяющую выполнять классификации изображений световых пятен, как это сделал бы специалист. Такого рода задачи на сегодняшний день актуально решать с помощью глубоких сверточных нейронных сетей (ГСНС). При этом ГСНС должна быть обучена на наборе понятно организованных классов световых пятен, привязанных к техническим параметрам СП. Таким образом, из первой задачи вытекает вторая, решаемая в данной работе, – это задача классификации световых пятен в привязке к техническим параметрам световых приборов. Обе эти задачи взаимосвязаны и не могут решаться в отдельности друг от друга.

2. Классификация линз

2.1. Палитра световых пятен

В фотографии принято различать два предельных состояния освещения: под светлым облачным небом над заснеженным пространством и под прожектором с узконаправленным пучком света ночью. В светотехнике можно отметить, что высокий контраст возникает при использовании узконаправленных световых приборов, более мягкий свет у СП с широкими углами излучения. При фиксированном расстоянии наблюдения первый создает световое пятно большей яркости и меньшего размера, второй – меньшей яркости и большего размера. Маленькое концентрированное пятно света, создаваемое узкоградусной линзой ощущается более контрастным по отношению к окружающему фону так как глаз, согласно эффекту Стивенса [1], адаптируется на более высокую фотометрическую яркость, и это приводит к увеличению визуального контраста.

Таким образом, ощущение задается минимум этими двумя параметрами. Несколько пятен похожих по структуре могут быть объединены в группы в силу того, что глаз не замечает существенной разницы между ними. Зафиксируем два крайних положения на световой шкале ощущений: высокий контраст и мягкий свет, а между этими крайними положениями выделим еще три – заметный, средний контраст и плавное освещение (см. рис.1). Таким образом, можно условно выделить пять типов световых пятен и соответственно пять типов СП с различными углами излучения и распределениями яркости внутри светового пятна. Синим цветом выделена примерная граница светового пятна, которую регистрирует глаз. Заметим, что граница между яркой частью и темной не всегда имеет четкую границу.

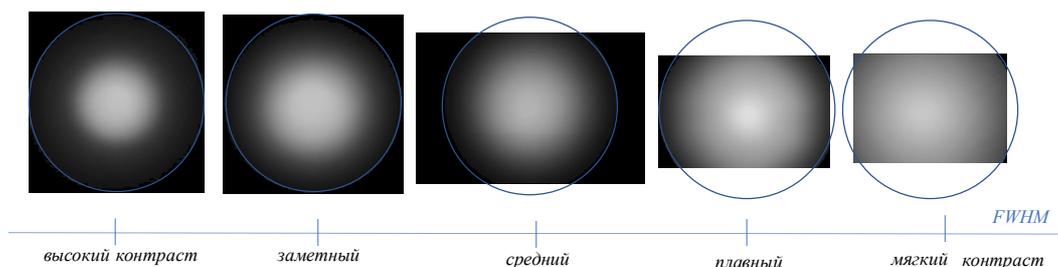


Рис. 1. Палитра световых пятен светодизайнера

Чтобы данная палитра, с некоторой долей вероятности помогала определить класс линзы и ее технические параметры требуется классификация линз, основанная на эффекте освещения, которое они создают. Световая палитра должна помогать переводить ощущение дизайнера (художника) в техническую плоскость.

2.2. Классификация симметричных световых приборов

В настоящее время производители линз для светодиодных светильников с симметричными КСС приводят не только технические параметры такие как: угол излучения ($FWHM$), осевую силу света (I_0), кривую силы света (КСС) и фотометрический файл, но и изображения световых пятен. Ранее все эти данные не были доступны в достаточной выборке. Существующая сегодня классификация КСС была предложена в 1968 г. [2], проводилась на более ограниченном наборе светильников и привязана к косинусной функции. В ней КСС задаются через направление максимальной силы света и коэффициент формы. Коэффициент формы (Кф) – это отношение максимальной силы света (I_{max}) к средней (I_{cp}). Данная характеристика является дополнительным параметром светильника, достаточно трудным для человеческого восприятия. Прожекторы подразделяют по типу рассеяния в зависимости от значения угла рассеяния в плоскости наибольшего рассеяния на узкие, средние и широкие и привязаны они к углу излучения по уровню 10 % от I_{max} [3]. Но дело в том, что данная классификация не учитывает I_{max} в данной классификации, то есть в пределах одного угла КСС может быть более пологой или острой и, поэтому угол рассеяния сам по себе не может быть единственной основой классификации.

Сегодня наиболее широкие номенклатуры КСС можно найти у производителей линз и рефлекторов. Достоинство таких баз состоит в том, что в них можно найти не только технические параметры такие как: $FWHM$, осевую силу света (I_0), КСС и фотометрический файл, но и изображения световых пятен. Тогда K_f по смыслу можно передать через параметры I_0 и $FWHM$: I_0 – это в данном случае I_{max} (по другому длина КСС), а $FWHM$ условно определяет ширину КСС по уровню 50 % от I_{max} .

Для выполнения классификации существующих линз и рефлекторов с различными светодиодами и светодиодными матрицами (COB) была собрана коллекция из 778 изображений с различными световыми пятнами с сайтов (www.ledil.com и www.carclo-optics.com) и привязана к значениям I_0 и $FWHM$. Анализ технических характеристик линз и рефлекторов показал, что в настоящее время существует гораздо больший набор КСС, выходящий за пределы существующей классификации СП. Следует отметить, что в принципе отсутствует классификация прожекторов по осевой силе света, а классификация светильников ограничивается концентрированной КСС тип К3. На рис. 2. показано множество наборов сочетаний осевой силы света от угла излучения для собранной коллекции. Так как глаз замечает разницу при изменении яркости (освещенности) в три раза, а сила света при неизменном расстоянии наблюдения одного и того же светового пятна будет пропорциональна освещенности, то изменение осевой силы света в три раза также глаз будет замечать. Поэтому данный график приведен в логарифмическом масштабе (см. рис.2). Такой

вид графика учитывает способность человеческого глаза уловить изменение яркости в световом пятне.

Из анализа данных по 778 образцам линз была получена зависимость $I_0 = f(FWHM)$, которая может быть аппроксимирована следующим уравнением:

$$I_0 = 779.72 \cdot FWHM^{-1.67} \quad (1)$$

с вероятностью $R^2 = 0.96$.

Также была получена и обратная зависимость $FWHM = f(I_0)$:

$$FWHM = 52,414 \cdot I_0^{-0.576} \quad (2)$$

с вероятностью $R^2 = 0.96$.

Данные зависимости применимы для светодиодных СП с источниками белого цвета. В данной зависимости цветные ИС не рассматривались.

Таким образом, шкала палитры световых пятен может иметь пять ступеней и линзы можно условно разделить на пять классов: Spot (концентрированный), Narrow (узкий), M (средний), W (широкий), WW (очень широкий).

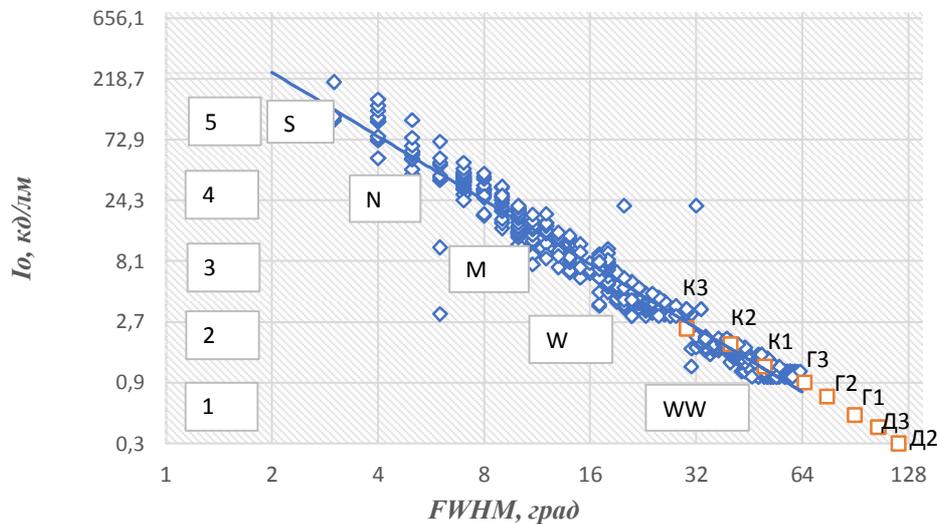


Рис. 2. Классификация светодиодных СП по типам КСС: S - Spot (концентрированный), N - Narrow (узкий), M – Medium (средний), W - Wide (широкий), WW – Wide-Wide (очень широкий)

Далее встает вопрос о границах этих классов. Из рис.2 видно, что технические параметры разных классов пересекаются. В реальности линзы с $FWHM$ от 48° до 61° могут иметь разброс I_0 от 0,8 кд/лм до 1,5 кд/лм (в 1,9 раза), с $FWHM$ от 10° до 18° разброс I_0 - от 3,6 кд/лм до 20 кд/лм (в 5,6 раза), с $FWHM$ от 7° до 8° разброс I_0 от 18 кд/лм до 48 кд/лм (в 2,7 раза). С другой стороны, линза из класса W с $I_0 \sim 1$ кд/лм может иметь $FWHM$ от 48° до 61° , с $I_0 \sim 10$ кд/лм - $FWHM$ от 10° до 18° , а с $I_0 \sim 30$ кд/лм - $FWHM$ от 7° до 8° . Как видно из приведенных данных, ни по углу излучения, ни по осевой силе света невозможно определить четкие границы между классами.

Так как по техническим параметрам линза может иметь признаки нескольких классов, то сумма вероятностей ее отнесения к тому или иному классу должна быть равна единице. То есть если вероятность равна 1, то эта линза точно принадлежит этому классу, а если меньше единицы, то она может быть классифицирована по нескольким классам. На рис.3 показана вероятностная модель шкалы $p = f(I_0)$, на которой фиктивными цветами показана вероятность принадлежности линзы определенному классу от S до WW в зависимости от I_0 .

На рис. 3 визуализирована классификация СП в зависимости от осевой силы света. Чтобы исключить появление неправдоподобных сочетаний углов и сил света классификация

по осевой силе света привязана к диапазону углов излучения согласно выражению (2).

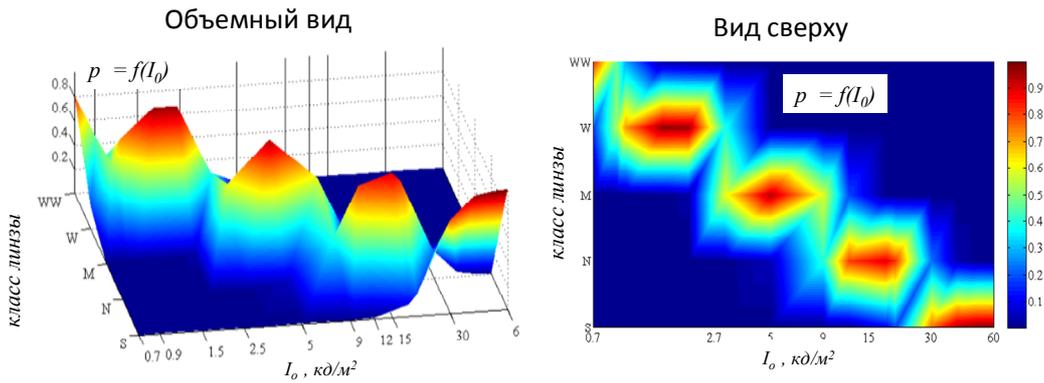


Рис. 3. Классификация СП на основе I_0 по типам КСС (вероятностная модель)

3. База изображений световых пятен

3.1. Предварительная обработка фотографий

Чтобы решить поставленную задачу требуется иметь набор классифицированных изображений со световыми пятнами. Сложность состоит в том, что в готовых фотографиях из базы не известно расстояние и взаимное расположение линзы, освещенной поверхности, а также настройки фотоаппарата. Некоторые производители приводят не реальные фотографии, а изображения, смоделированные в программах оптического расчета. В рамках данной работы вопрос точного воспроизведения световых пятен не учитывался, но теоретически в будущем он может быть решен с использованием HDR-изображений, воспроизводимых с помощью «модели восприятия изображений» (image appearance models), например *iSAM* [1].

Тем не менее визуальный осмотр представленных на сайтах производителей изображений световых пятен дает представление о том, какой эффект они создают. По большинству снимков грубо можно предположить к какому классу линзы можно отнести то или иное фото. Согласно предложенной классификации изображения были отсортированы по пяти папкам по параметру осевой силы света: WW - от 0.5 до 0.9 кд/лм; W – от 1.0 до 2.9 кд/лм ; M - от 3 до 8.9 кд/лм; N- от 9 до 26 кд/лм и S - больше 27 кд/лм соответственно.

Для классификации с существующими ГСНС, как правило, требуются изображения квадратной формы определенного размера. Для обработки этой коллекции использовалась функция *image Datastore* в программе *Matlab 2020b*. Кроме того, цвет светового пятна может влиять на восприятие и на обучение СНС, поэтому база изображений на данном этапе была преобразована в серые тона. Только фотографии с явно переэкспонированным световым пятном не дают возможности их классификации, такие изображения были исключены из коллекции. На первом этапе фотографии были откадрированы так, чтобы пятно попадало в центр изображения, при этом сохранялась высота исходного изображения и не происходила деформация светового пятна. Каждое изображение было преобразовано в квадратное серое изображение уменьшена до размера [224 224 3]. Один серый канал изображения был продублирован на 3, так как трансферная ГСНС требует именно такой формат на входе. Далее данная коллекция использовалась для обучения и тестирования ГСНС.

2.3. Предварительная обработка фотографий по границе светового пятна

Из предположения, что дизайнер будет работать на экране монитора с комфортным

размером светового пятна. При создании того или иного светового образа он увеличивает конкретный участок изображения. В данном случае расстояние до освещаемой поверхности на исходном изображении не всегда известно, поэтому угловой размер в данном случае не может быть объективным показателем. Хотя, конечно, в реальности это очень сильный фактор, влияющий на восприятие. На близких расстояниях распределение яркости внутри самого светового пятна также является характерным. В [3] есть градация углов излучения, привязанная по уровню 10 % и 50 % от I_{max} . Угол излучения линз принято характеризовать двумя углами: *FWHM* (full width at half maximum) – соответствует углу излучения по уровню 50 % от I_{max} , а углом рассеяния (Field angle) – по уровню 10 % от I_{max} .

Если ограничить интенсивность светового пятна на изображении по уровню 50 % от максимальной, все что ниже приравнять нулю, то теряются важные детали в темной области. Поэтому вся коллекция изображений была обработана так: в исходном изображении все пиксели с интенсивностью менее 10 % от максимальной были приравнены к нулю. По этим границам определялось положение пятна на изображении и отсекалась черная часть как неинформативная. Предположение, что распределение яркости несет в себе достаточно информации и может быть оторвано от углового размера пятна не подтвердилось. Данная коллекция использовалась в обучении ГСНС, но показала более низкую точность предсказания.



Рис. 4. Обработка изображений по границе светового пятна. Слева – до обработки, справа- после

3. Глубокие сверточные нейронные сети

3.1. Что такое ГСНС

Задача классификации изображений в настоящее время решается с помощью СНС. Если ГСНС обучена на 1000 классов - это означает, что она научилась извлекать, собирать и классифицировать характеристики из изображений для 1000 различных объектов [4]. Различные ГСНС работают с изображениями определённого размера. Изображение – это тип данных с собственной внутренней структурой, которая отлично известна нам заранее. Среди размерностей этого массива есть одна или более осей, порядок вдоль которых играет важную роль; например, это может быть расположение пикселей в изображении, или «каналы», описывающие свойства каждого элемента по предыдущему подмножеству осей.

Основная идея сверточной сети состоит в том, что обработка каждого участка изображения должна происходить независимо от конкретного расположения этого участка. С другой стороны, взаимное расположение объектов играет важную роль, но сначала их нужно распознать, и это распознавание – локально и независимо от конкретного положения участка с объектом внутри большой картинке.

ГСНС работает по принципу: «накрывает» вход небольшими окнами (например, 5x5 пикселей) и выделяет одни и те же признаки в каждом таком окне с помощью небольшой нейронной сети. Иными словами, маленькая нейронная сеть будет всего одна, входов у нее будет всего $5 \times 5 = 25$, а из каждой картинке для нее может получиться очень много разных входов. Значения каждого признака, которые мы выделили из окон в исходном изображении, теперь будут представлять собой целую матрицу. Такие матрицы называются картами признаков. Более подробно о работе глубоких нейронных сетей можно найти в [4].

3.2. Трансферная ГСНС

В существующих ГСНС – есть объект световое пятно «spotlight», но нет градаций различных световых пятен. Достоинство существующих ГСНС в том, что для каждой задачи не требуется создавать новую НС, а можно использовать предварительно обученные сети, например *GoogLeNet* [5]. Этот процесс называется трансферным обучением [6] и обычно он намного быстрее и проще, чем создание и обучение новой сети. Кроме того, в данном случае можно применять изученные функции к новой задаче, используя меньшее количество обучающих изображений. В данной работы был использован пакет *Deep Network Designer* программы Matlab 2020 и для адаптации предварительно обученной сети *GoogLeNet* для классификации новой коллекции изображений. В исходной архитектуре сети были отредактированы блоки, отвечающие за количество классов в коллекции. Назовем новую ГСНС *GoogLeNet-LightPallet*, так как будет обучаться на световых пятнах различных линз. Описание как работает *GoogLeNet* и из каких блоков она состоит подробно написано в [5]. В рамках данной работы была выполнена модификация в блоке полносвязного слоя *loss3-classifier* и в блоке классификации *output*. В них было изменено количество классов с 1000 на 5.

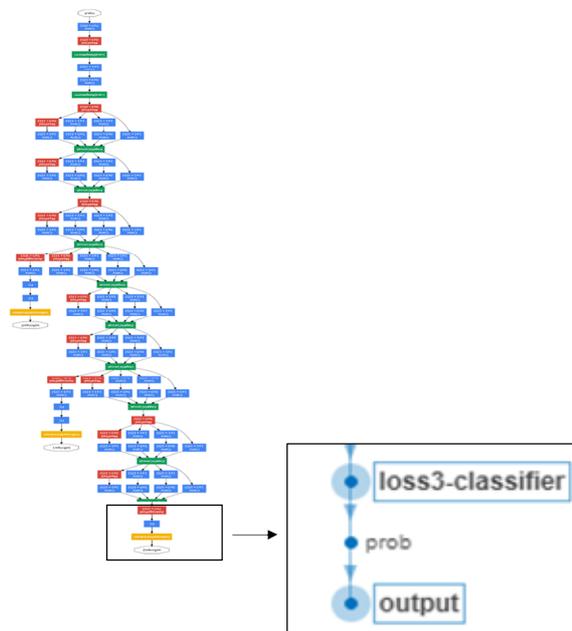


Рис. 5. Структура GoogLeNet и измененный модуль

В процессе обучения использовалась функция *trainingOptions* со следующими параметрами:

```
ops = trainingOptions('adam', 'InitialLearnRate', 0.0001, 'LearnRateSchedule', 'piecewise', ...
'LearnRateDropFactor', 0.2, 'LearnRateDropPeriod', 5, 'MiniBatchSize', 64, ...
```

'ValidationData', val_data, 'ValidationFrequency',10, "Plots", "training-progress",... "MaxEpochs",20).

В данном случае выбран оптимизатором "adam" (производный от адаптивной оценки момента), который рекомендуется использовать в первую очередь. Оптимизаторы "rmsprop" (среднеквадратичное распространение) и "sgdm" (стохастический градиентный спуск с импульсом) не привели к улучшению обучения. Также один из важных параметров который влияет на обучение – "InitialLearnRate". Например, GoogleNet-Light Pallet при снижении его до значения 0,001 переставала обучаться. Более подробно об остальных параметрах можно почитать в [7], они подбираются экспериментальным путем исходя из набора исходных данных и структуры сети. Точность GoogleNet-Light Pallet в процессе обучения и матрица ошибок показаны на рис.6.

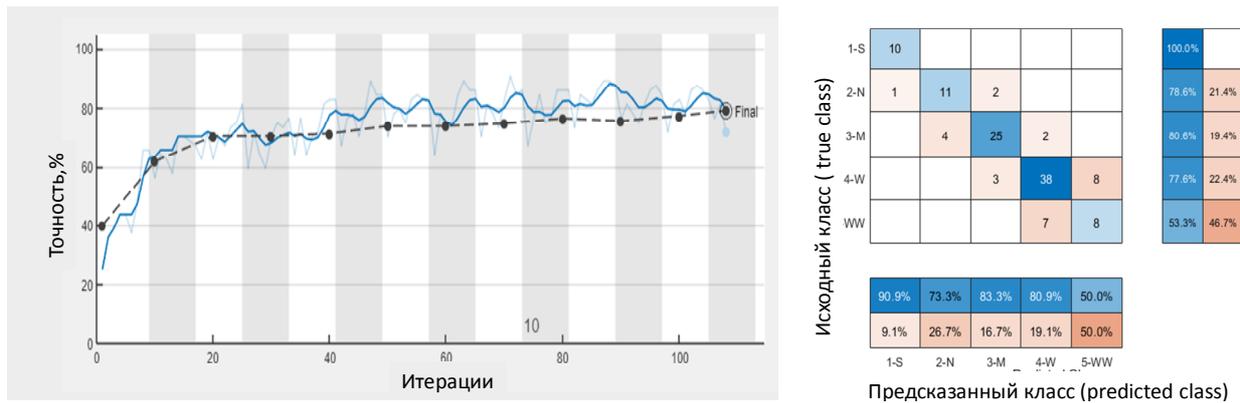


Рис. 6. Точность GoogleNet-Light Pallet в процессе обучения и матрица ошибок

3.3. Обучение и тестирование GoogleNet-Light Pallet

Качество работы ГСНС очень сильно зависит от исходных данных. На начальном этапе классификация линз была сделана произвольно по углу излучения путем ручной сортировки похожих изображений. Далее изображения предварительно обработанные по схеме описанной в 2.2. были использованы в обучении GoogleNet - Light Pallet. Точность такой модели была не выше 58-62 % в зависимости от параметров trainingOptions. После выдвижения идеи более точной классификации световых пятен, привязанной к техническим параметрам, удалось увеличить точность этой модели до 65-68 %. Для сравнения было выполнено обучение GoogleNet-Light Pallet на базе изображений со всем диапазоном интенсивностей пикселей, обрезанных до квадрата так, чтобы пятно оставалось в центре кадра. Такая модель показала максимальную точность предсказания до 82 %. Таким образом, можно сделать вывод, что ГСНС отлично классифицируют изображения с точки зрения математического аппарата, но очень важно правильно подобрать исходные данные, на которых они тренируются и обучаются. Вопрос обработки изображений является центральным в вопросе точности работы СНС. На рис.6 показана точность в процессе обучения GoogleNet - Light Pallet, по которой видно, что процесс обучения стабилизировался на 40 итерации. Валидационная кривая (черным цветом) расположена близко к тренировочным кривым. Финальная матрица ошибок показывает, что сложнее всего распознавать КСС у линз типа WW и W (до 50%). Что естественно, так как эти 2 типа больше похожи, что можно объяснить тем, что в данных классах график $I = f(FWHM)$ довольно пологий и световое пятно на изображениях часто выходит за границы. Это затрудняет поиск характерных особенностей теневой части светового пятна в некоторых случаях.

В нашем случае размер и равномерность участка светового пятна, а также перепады яркости – это те объекты, которые НС должна распознать. Чем больше «особенностей» присутствует на изображении, тем сильнее вес этих участков изображений. При настройке нейронной сети можно обнаружить, что сеть не смотрит на те характеристики, на которые обращает внимание эксперт. Такой визуальный анализ позволяет подстраивать архитектуру НС или изменять ее параметры. Проверку работы нейронной сети проводят с помощью карты *GradCAM* [6], идея которой заключается в вычислении градиента окончательного классификационного балла по отношению к окончательной сверточной карте признаков. Классификационный балл - это вероятность того, что данное изображение относится к тому или иному классу. Места, где этот градиент велик - это те места, где итоговая оценка больше всего зависит от данных. Вспомогательная функция *gradcam* вычисляет карту *GradCAM* для сети *GoogleNet-Light Pallet*, беря производную оценки слоя *softmax* для данного класса по отношению к сверточной карте объектов.

На рис.7 приведен результат тестирования *GoogleNet-Light Pallet* на произвольной выборке из шести световых пятен линз в виде: исходное световое пятно, карта *GradCAM* и классификационные баллы, также приведены исходные технические данные линз, классификация и точность предсказания, соответствующая максимальному классификационному баллу. В нашем случае для карты *GradCAM* была использована красно синяя гамма, где красный цвет отвечает за высокие значения градиента, а синие соответственно стремятся к нулевым.

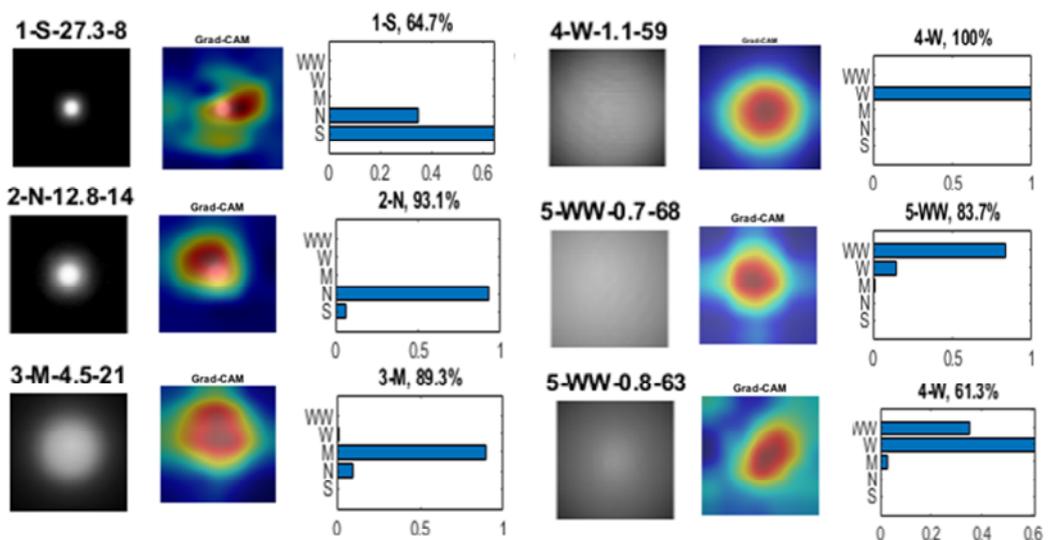


Рис. 7. Классификация тестовой выборки. Слева направо: тестовое изображение (1S-2.7-8 читать как класс 1S, $I_0 = 27.3$ кд/лм, $FWHM = 8^\circ$) и классификационные баллы (1-S – предсказанный класс с вероятностью 64,7 %)

3.4. Гипотеза

В качестве гипотезы было предложено вычисление силы света линзы i -го класса по предсказанному классификационному баллу для этого класса

$$I_i = I_{sp_i} \cdot p_i, \quad (3)$$

где I_{sp_i} – средняя осевая сила света выборки линз i -го класса, а p_i – классификационный балл i -го класса.

Итоговая сила света определяется по формуле

$$I_{np} = \sum_{i=1}^5 I_i \quad (4)$$

Таким образом, модель палитры световых пятен может работать так: дизайнер загружает изображение светового пятна, далее с помощью *GoogleNet-Light Pallet* определяется класс светового прибора от S до WW и рассчитываются классификационные баллы. Из этих данных по формулам (3) и (4) рассчитываются ориентировочные силы света и по формуле (2) определяются значения углов с некоторым допуском.

образец 1-S-27.3/-8	I _{ср} , кд/лм	p _i	I _i , кд/лм
S	45	0.64	28.80
N	9	0.34	3.06
M	3	0	0
W	1.1	0	0
WW	0.7	0	0

$$I_{np} = 31.9$$

$$FWHM_{np} = 7.1$$

образец 2-N-12.8-14	I _{ср} , кд/лм	p _i	I _i , кд/лм
S	45	0	0.00
N	15	0.93	13.97
M	5	0.07	0.345
W	1.1	0	0
WW	0.7	0	0

$$I_{np} = 14.3$$

$$FWHM_{np} = 11.3$$

образец 5-WW-0.7-68	I _{ср} , кд/лм	p _i	I _i , кд/лм
S	45	0	0.00
N	15	0	0.00
M	5	0	0
W	1.1	0.17	0.187
WW	0.6	0.83	0.498

$$I_{np} = 0.7$$

$$FWHM_{np} = 65.2$$

Рис. 8. Расчет I_{np} и $FWHM_{np}$ по классификационным баллам для 3х вариантов линз

4. Выводы

В результате проведенных исследований в работе предложена общая классификация СП с учетом восприятия светового пятна глазом; предложена палитра световых пятен, привязанная к классу линзы по параметру осевой силы света. В рамках работы установлена зависимость угла излучения от силы света и обратная зависимость с точностью 96%. *GoogleNet-Light Pallet* позволяет по изображению светового пятна определить тип КСС линзы по предложенной классификации и классификационные баллы для каждого класса. Предложено на основе классификационных баллов рассчитывать набор технических параметров. Вычисление параметров линз на данном этапе предполагается выполнять с учетом веса на основе $I_{ср_i}$ каждого класса линз, а угол излучения вычислять по формуле (2). Такой подход позволит дизайнерам облегчить подбор типа СП при разработке сцены освещения. В данной работе не исследовался вопрос определения $I_{ср_i}$, так как он требует отдельного исследования. Сама гипотеза такого определения параметров требует более тщательной проработки и выходит за рамки данной статьи.

Список литературы:

References:

1. Fairchild M.D. Color Appearance Models. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. – 450 p. – ISBN 9781118653128.
2. Айзенберг, Ю.Б. О новой светотехнической классификации светильников / Ю.Б. Айзенберг, Г.М. Кнорринг // Светотехника. – 1968. – № 11. – С. 1-4.
3. ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний: национальный стандарт российской федерации приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121088> (дата обращения: 06.11.2020).
4. Николенко, С.И. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С.И. Николенко, А.А. Кадури, Е.В. Архангельская. – СПб.: Питер. – 2018. – 480 с. ISBN 978-5-4461-1537-2.
5. Deep Learning Toolbox. Getting Started Guide. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Текст: электронный // MATLAB Documentation: [сайт]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_gs.pdf (дата обращения: 06.11.2020).
6. Deep Learning Toolbox. Users Guide. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Текст: электронный // MATLAB Documentation: [сайт]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_ug.pdf (дата обращения: 06.11.2020).
7. Deep Learning Toolbox. Reference. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Текст: электронный // MATLAB Documentation: [сайт]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_ref.pdf (дата обращения: 06.11.2020).

1. Fairchild M.D. Color Appearance Models. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. – 450 p. – ISBN 9781118653128.
2. Ajzenberg, Ju.B. O novoj svetotekhnicheskoy klassifikacii svetil'nikov / Ju.B. Ajzenberg, G.M. Knorring // Svetotekhnika. – 1968. – № 11. – S. 1-4.
3. GOST R 54350-2015. Pribory osvetitel'nye. Svetotekhnicheskie trebovanija i metody ispytanij: nacional'nyj standart rossijskoj federacii pribory osvetitel'nye. Svetotekhnicheskie trebovanija i metody ispytanij // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121088> (data obrashhenija: 06.11.2020).
4. Nikolenko, S.I. Glubokoe obuchenie. Pogruzenie v mir nejronnyhsetej / S.I. Nikolenko, A.A. Kadurin, E.V. Arhangel'skaja. – SPb.: Piter. – 2018. – 480 s. ISBN 978-5-4461-1537-2.
5. Deep Learning Toolbox. Getting Started Guide. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Tekst: jelektronnyj // MATLAB Documentation: [sajt]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_gs.pdf (data obrashhenija: 06.11.2020).
6. Deep Learning Toolbox. Users Guide. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Tekst: jelektronnyj // MATLAB Documentation: [sajt]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_ug.pdf (data obrashhenija: 06.11.2020).
7. Deep Learning Toolbox. Reference. R2020b / H.B. Mark, T.H. Martin, B.D. Howard. – Tekst: jelektronnyj // MATLAB Documentation: [sajt]. – URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/net_ref.pdf (data obrashhenija: 06.11.2020).

Статья поступила в редколлегию 31.10.2020.

*Рецензент: д-р. техн. наук, доцент,
Брянский государственный технический университет
Захарова А.А.*

Статья принята к публикации 14.11.2020.

Сведения об авторах

Information about authors:

Будак Владимир Павлович

д.т.н., профессор кафедры светотехники НИУ «МЭИ»
E-mail: BudakVP@mpei.ru

Budak V.P.

doctor of technical science, professor of lighting
technology department, Moscow Power Engineering
Institute, Moscow, Russia,
E-mail: BudakVP@mpei.ru

Ильина Екатерина Игоревна

аспирантка кафедры светотехники НИУ «МЭИ»
E-mail: kitesika@gmail.com

Pyina E.I.

post graduate student department of lighting technology,
Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia,
E-mail: kitesika@gmail.com

УДК: 628.987

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-15-24

В.П. Будаков, Т.В. Мешкова

КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ПРОГРАММАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

В статье формулируется и обосновывается новый подход к оценке качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ). Описываются несколько аспектов оценки качества освещения и выбирается основной из них для дальнейшего исследования. Рассматривается видимость, как первая ступень к формулировке критерия качества. Правомерность нового подхода доказывается в лабораторных условиях на примере выполнения стандартной зрительной задачи и в реальных условиях в московском метрополитене.

Ключевые слова: пространственно-угловое распределение яркости, критерий качества освещения, видимость, московский метрополитен, эксперимент.

V.P. Budakov, T.V. Meshkova

THE QUALITY OF LIGHTING IN THE MODELLING OF LIGHTING INSTALLATIONS IN COMPUTER GRAPHICS PROGRAMS

The article formulates and proves a new approach to assessing the quality of lighting based on the luminance spatial-angular distribution (LSAD). Several aspects of assessing the quality of lighting are described and the main one is selected for further research. Visibility is considered as the first step to the formulation of the quality criterion. The validity of the new approach is proved in laboratory conditions on the example of carrying out a standard visual task and in real conditions in the Moscow metro.

Keywords: luminance spatial-angular distribution, the lighting quality criterion, visibility, Moscow metro, experiment.

1. Введение

Под понятием качественного освещения традиционно принимается грамотное сочетание основных параметров источников света, осветительных приборов, их размещения и окружающего фона. По сути определение верно, но вопрос грамотного сочетания всех зависимых параметров дает субъективный результат, который зависит от мнения и компетентности проектировщика освещения. Тогда необходимо определить уже объективные критерии качественного освещения.

Из качественных показателей освещения можно выделить обобщенный показатель дискомфорта UGR, цилиндрическую освещенность и коэффициент пульсации. По сути, для проектирования используется только показатель UGR, хотя он и отвечает за некритичную степень ослепления или дискомфорта от осветительной установки, но это одна сторона проблемы. Ведь при низких уровнях яркости и контраста также будет появляться ощущение дискомфорта при выполнении зрительной задачи. На заре развития методов и программных средств моделирования осветительной установки такая ситуация была закономерна.

В настоящее время модный лозунг Human centric lighting невозможно достаточно полно идентифицировать потому, что мы не можем однозначно выразить это понимание в терминах фотометрических величин. Глаз человека реагирует на яркость, поэтому в распределении яркости (по которому можно оценить не только степень ослепленности, но

обратную сторону - низкие уровни яркости и контраста) и есть ключ к критерию качества и проектированию освещения на заданное (человеко-ориентированное) качество.

При этом качество – это обобщенное понятие оценки освещения. А так как свет зависит от пространственно-угловых координат, длины волны и времени, то и оценка качества освещения должна строиться на этих параметрах. А с появлением новых методов [1] моделирования уравнения глобального освещения [2] появляется принципиально новая возможность расчета не просто распределения освещенности в диффузном приближении, а получения пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ). Таким образом, вновь можно поставить вопрос о критериях качества освещения и проектировании осветительной установки на заданные качественные показатели.

2. Методы

Воздействие видимой части электромагнитного спектра на органы зрения формирует зрительное ощущение, которое играет важнейшую роль в определении формы, цвета, размеров окружающих предметов, их расположения относительно друг друга, обеспечивая объективное восприятие окружающего пространства.

Так, например, высокий уровень яркости позволяет различать мельчайшие детали, которые при тусклом освещении ускользают от внимания. Работа с мелкими предметами при низких уровнях освещения приводит к переутомлению не только глаз, но и всего организма и, как следствие, потере продуктивности.

Однако, одним из основных качественных параметров освещения в помещении, который используется проектировщиками в качестве критерия определения комфортного освещения, является обобщенный показатель UGR, который отвечает за степень дискомфорта или ослепления, вызванного осветительной установкой. А если рассмотреть обратную ситуацию – это низкие уровни яркости и контраста, которые заведомо не будут слепить, то очевидно, что они будут причинять не меньший дискомфорт для глаз, так как различение формы, цвета и размера объектов будет затруднено.

Рассмотрим другой пример – понятие Human centric lighting, человеко-ориентированное освещение. Это целая концепция искусственного освещения, основанная не только на традиционно принятых количественных параметрах освещения, но и включает в себя анализ и применение биологического и эмоционального воздействия освещения на человека.

В современном мире под понятием человеко-ориентированное освещение обычно понимают адаптацию искусственного освещения, в соответствии с суточным циклом изменения естественного освещения. В таких системах ориентируются не только на уровень нормируемой освещенности, но и учитывают изменение цветовой температуры и спектрального состава излучения (аналогично естественному освещению в течение дня), так как уже доказано учеными, что биологические часы и высвобождение гормона сна мелатонина напрямую зависят от этих изменений [3]. Но ведь имитация естественного освещения в течение рабочего дня с помощью осветительной установки и системы управления освещением, которая фактически сводится к созданию нормируемого уровня освещенности и изменению цветовой температуры от 5000 К до 2700 К – это только один из возможных аспектов концепции. Поскольку глаз человека реагирует на отраженную яркость от предметов и поверхностей в помещении, распределение яркости в помещении должно стать одним из основных критериев оценки качественного освещения, ориентированного на создание комфортных условий для человека.

Эта теория нашла свое отражение еще в 1915 г. в работах Клэрэнс Фери [4], которая показала, что именно пространственно-угловое распределение яркости определяет ощущение дискомфорта, а значит может являться критерием оценки качества освещения.

Таким образом, комфортное качественное человеко-ориентированное освещение – это обобщенное понятие оценки освещения на основе объективных количественных

показателей, на которые реагирует глаз. При этом из физики известно, что свет зависит от пространственно-угловых координат, длины волны и времени. В статье будет рассмотрен основной аспект – это ПУРЯ.

Вспомним, что яркость входит в понятие видимости, которое было еще сформулировано Гершуном А. А. в 1935 году, как отношение контраста к пороговому контрасту, то есть величине обратной контрастной чувствительности при известной яркости адаптации и в заданном угловом протяжении детали. Но экспериментальные данные и сама формулировка были получены для простейшего случая наблюдения плоского круглого диска, для которого яркость также принималась равномерной [5]. И, по сути, классическое определение видимости, которое используется до настоящего момента, осуществляется через отношение яркости малоуглового объекта к яркости фона. Такие допущения были необходимы на заре развития проектирования осветительных установок на основном количественном показателе, освещенности, которую легко измерить и посчитать, но не являются отражением реальной ситуации. С появлением новых методов [1] моделирования уравнения глобального освещения [2] появляется принципиально новая возможность расчета и анализа не просто распределения освещенности в диффузном приближении, а получения ПУРЯ, которое содержит всю информацию о качестве освещения (без учета спектрального состава источника света и пульсаций).

Однако, отметим, что само ПУРЯ не может являться объективным критерием, поскольку сцен освещения бесконечное множество, соответственно, как и различных ПУРЯ для них. Невозможно стандартизировать распределение, необходимо численное значение. Так некоторые исследования уже ведутся в области оценки качества освещения на основе ПУРЯ. В работе [6] анализируются яркостные изображения с высокой частотой дискретизации по яркости RAW HDR-изображения.

Предполагаем, что для определения численного критерия качества освещения, учитывающего ПУРЯ, можно рассмотреть обобщение понятия контраста. Обобщение контраста может строиться на основе спектральных характеристик источников света, временных или на основе градиента яркости. Для нашей формулировки критерия качества воспользуемся последним понятием.

Тогда обобщенный контраст в точке сцены определится, как представлено ниже:

$$K(x, y) = \frac{|\text{grad}L(x, y)p(x, y)|}{\bar{L}}, \quad (1)$$

где

$$\bar{L} = \frac{1}{A} \int_{(A)} L(x, y)p(x, y)dx dy, \quad A = \int_{(A)} dx dy, \quad (2)$$

где x, y – координаты точки на проекции сцены, L – яркость данной точки в направлении наблюдения, \bar{L} – средняя по полю зрения яркость, $p(x, y)$ – некоторая весовая функция, учитывающая различный вклад в реакцию глаз точек, расположенных в центре поля зрения и на периферии, так как плотность колбочек наибольшая у зрительной оси [7].

Аналогично $p(x, y)$ может быть введена любая другая функция учитывающая угловые эффекты.

Координаты x, y в синтезированном изображении однозначно связаны с направлением визирования \hat{I} для пространственно-углового распределения яркости $L(r, \hat{I})$ или распределению освещенности по сетчатке глаза.

В этом случае A — это площадь кадра визуализации или телесный угол поля зрения.

Распределение колбочек по сетчатке можно положить пропорционально $\sim \frac{1}{\theta^2}$, где θ – угол визирования [8]. Соответственно, вводимая функция p должна быть или пропорциональная этой величине или может быть задана таблично [6].

Критерий качества освещения оценивает уровни ощущений от комфорта до дискомфорта, а это субъективно. Поэтому оценка может быть получена только экспериментальным путем.

Поскольку критерий качества освещения может быть принят в виде одного интегрального значения для произвольной сцены освещения с известным распределением яркости для каждой точки пространства в каждом направлении, то в эксперименте должна проводиться оценка:

- качества освещения от источников света произвольных размеров и равномерной и неравномерной яркости в одной сцене освещения с различных ракурсов;
- выполнения зрительной работы при условии изменения яркости фона, яркости, размеров и положения блёского источника/источников.

3. Экспериментальная установка и ее валидация

На кафедре светотехники НИУ «МЭИ» была смонтирована экспериментальная установка для проведения исследования дискомфортных ощущений от блёских источников различной формы и яркости в поле зрения наблюдателя. Так как габариты экспериментальной установки ограничены помещением, в котором она должна находиться, то в качестве блёских источников были выбраны светодиоды, позволяющие смоделировать блёский источник любого размера, не превышая выделенной мощности. Кроме того, яркость светодиодных источников можно менять в очень широком диапазоне, изменение яркости практически не отражается на спектральных характеристиках, регулировка яркости происходит без задержек, плавно до необходимого уровня [9]. Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

Для начала работы необходимо провести валидацию экспериментальной установки на основе классической теории и подтвердить правомерность проведения дальнейших исследований на ней.

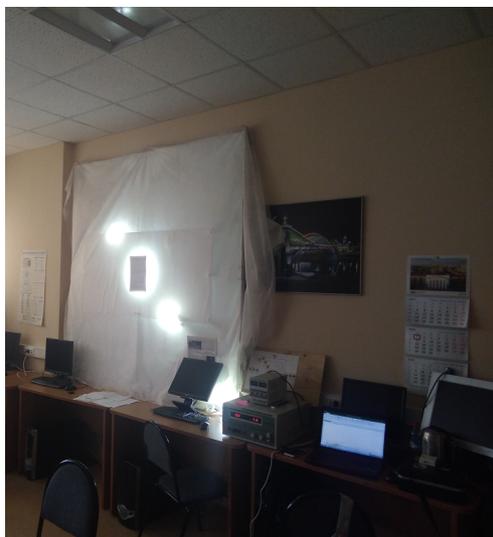


Рис. 1. Экспериментальная установка

Поскольку на уровень дискомфортной яркости могут влиять множество независимых друг от друга факторов, то установить какое-то одно определенное значение представляется затруднительным. Поэтому основным критерием успешно пройденной валидации экспериментальной установки было достижение нормального распределения [9]. Среднее значение яркости на границе комфорт-дискомфорт, полученное в этом эксперименте из 133 ответов, составило 3619 ± 905 кд/м². При этом разброс оценок наблюдателей составил 25%, меньше, чем контрольное значение [9].

Таким образом, была подтверждена успешная валидация экспериментальной установки, и то, что она может использоваться для дальнейшего исследования формулировки критерия качества, описанного во втором разделе.

4. Проверка формулировки критерия качества

Для проверки формулировки критерия качества была подобрана методика проведения эксперимента, которая заключалась в следующем: наблюдателям предлагалось прочитать текст объявления на расстоянии 1,5 м от него при динамично меняющемся распределении яркости в поле зрения (рис. 2). Для усреднения яркости единичных светодиодов по направлению, все матрицы были перекрыты молочным стеклом толщиной 3 мм. Во время эксперимента проводилась съемка фотоаппаратом Nikon D3100 в формате RAW с динамическим диапазоном 12 бит. Файлы типа RAW иногда называют «цифровым негативом», поскольку они играют роль, похожую на роль негатива в аналоговых фотографии. И одновременно для нормировки на максимальную яркость полученного RAW изображения проводилась съемка яркомером Konika Minolta LS-100.



Рис. 2. Исследование критерия качества освещения

Всего было проведено два эксперимента с различной конфигурацией блёских источников. В первом эксперименте участвовало 11 человек (студенты кафедры светотехники), во втором – 8 человек (студенты кафедры светотехники). Доверительный интервал для первого случая: 359 ± 136 кд/м², из которого видно, что разброс оценок по наблюдателям оставляет 38%, для второго случая - 575 ± 230 кд/м², из которого видно, что разброс оценок по наблюдателям составляет 40%.

Далее все изображения, снятые в формате RAW, проходили дополнительную обработку. С помощью программы Adobe DNG Converter фотографии в формате RAW были переведены в формат DNG.

Обработанные изображения загружались в разработанную нами программу по расчету критерия качества в MATLAB. Так как RAW формат содержит фактические исходные данных с матрицы фотоаппарата, не прошедшие обработку то, необходимо провести «демозаику» изображения [6]. После чего, полученное полноцветное 12-битное изображение переводилось в оттенки серого и нормировалось на яркость, измеренную яркомером Minolta.

Обработанные изображения позволили получить числовые значения критерия качества в зависимости от средней яркости по полю зрения. Накладывая графики с различным ПУРЯ, полученные из двух экспериментов, друг на друга видно, что доверительные интервалы для каждого из делений шкалы совпадают в относительных единицах и не пересекаются, что отражено на рис. 3.

На рис. 3 нанесены усредненные точки, в которых наблюдатели регистрировали переход ощущений между границами: «безразлично - дискомфортно», «дискомфортно - неудобно», «неудобно - невыносимо».

Результаты обработки двух экспериментов позволяют судить о корректности работы критерия качества в лабораторных условиях, и он может применяться для оценки сцен освещения с блёскими источниками произвольной формы. Формулировка предложенного критерия качества также соответствует результатам мировых исследований в этой области.

4. Результаты экспериментальной проверки критерия качества в лабораторных условиях

В объективных оценках точности измерений яркости экрана в условиях заданных сцен использовался метод оценки погрешности. Определение доверительных границ погрешности оценки яркости экспериментальной установки было выполнено на примере прямых многократных измерений фона экрана при его общем освещении светильниками, установленными в аудитории. Результаты измерений и их статистической обработки в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 и значениями не исключенных систематических составляющих погрешности представлены ниже:

- калибровка яркомера – 4 %;
- неравномерность яркости – 5 %;
- нелинейность - 1%;
- доверительные границы погрешности при измерении яркости фона - 8,9 %.

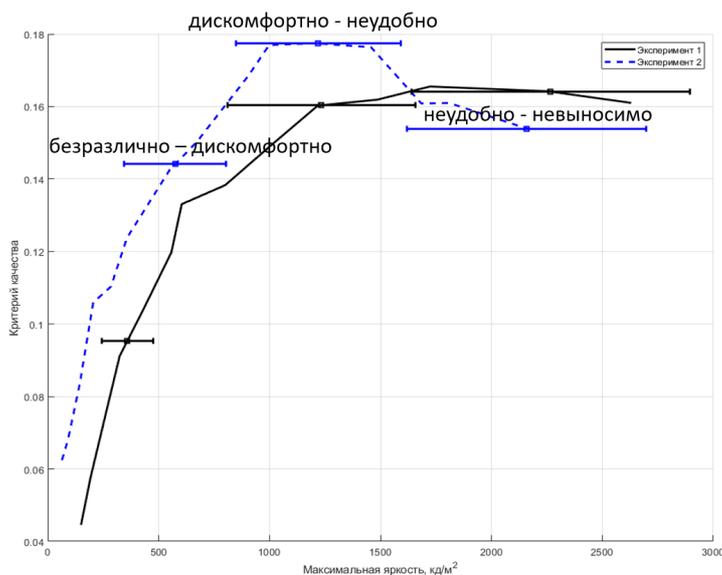


Рис. 3. Значения критерия качества для различных ПУРЯ

Ниже представим сводную таблицу по расхождениям в ответах наблюдателей по всем проведенным экспериментам [9].

Таблица 1. Усреднённые показатели расхождений в субъективных наблюдениях и оценках [9]

Условия наблюдений	Разброс в ответах наблюдателей, %
Эксперимент Лекиша и Гуга	28
Градуировка ЭУ МЭИ	25
Градуировка ЭУ МЭИ с учётом индекса позиции	21
Градуировка ЭУ МЭИ с источниками произвольной формы	27
В эксперименте МЭИ при проверке критерия качества 1	38
В эксперименте МЭИ при проверке критерия качества 2	40

Из анализа результатов усреднённых оценок расхождений в субъективных наблюдениях сцен в лабораторных условиях, видно, что проверка работы экспериментальной установки, методики проведения эксперимента и формулировки критерия качества прошла успешно. Большой разброс в эксперименте по проверке критерия качества обусловлен малым набором статистики. Так в эксперименте по проверке работы экспериментальной установки участвовало до 43 наблюдателей, в то время как при проверке критерия качества участвовало 10 наблюдателей. При этом необходимо отметить, что человеческий фактор (субъективный коэффициент в законе Вебера – Фехнера) не изменился.

5. Экспериментальная проверка критерия качества на примере московского метрополитена

Предложенный критерий качества, является эмпирической величиной и, следовательно, требует проверки не только в лабораторных условиях, но и на реальном объекте.

В качестве такого объекта были выбраны станции Московского метрополитена. Так современные станции выполнены в стиле хай-тек из материалов с высоким коэффициентом отражения и освещены с помощью высоко эффективных светодиодных светильников, которые позволяют формировать «световые рисунки» различного размера и форм-фактора, пример одной из обследуемых станций представлен на рис. 4.



Рис. 4. Станция Говорово

На фото станции Говорово (рис. 4) осветительная установка выполнена с помощью светильников, которые невозможно однозначно отнести к какой-либо форме (линейный, точечный, светящаяся поверхность и т.д.). Кроме того, за счет высоких значений коэффициента яркости материалов отделки, на полу есть яркие блики, которые могут создавать ощущение дискомфорта у пассажиров и, следовательно, влиять на безопасность и дезориентацию на станции.

Для проверки критерия качества в реальных условиях была выбрана следующая методика проведения эксперимента [10]:

1. Наблюдатель, высаживается на станции, в течение 1 минуты происходит зрительная адаптация на новый уровень яркости на станции по сравнению с уровнем яркости в вагоне. В течение 1 минуты наблюдателю давалась возможность осмотреть всю станцию целиком, идентифицировать вывеску с указателями выхода и оценить качество освещения станции

при наблюдении вывески по шкале от 0 до 10, где 0 – соответствует «качественному» освещению, 10 – не качественное освещение. Ощущение качественного освещения интерпретируется как зрительный комфорт нахождения на станции.

2. Норма при этом находится «посередине шкалы». При этом оценка наблюдателя должна выставляться с одного ракурса в сцене, а именно согласно нормативным документам, у торцевой стены на центральной оси помещения на уровне глаз при направлении наблюдения под углом 0° к горизонту для дальнейшего сравнения с нормируемым значением показателя UGR для смоделированной осветительной установки в программе DIALux.

3. Производилась съемка широкодиапазонной фотографии цифровым фотоаппаратом Nikon D3100 в Raw формате с нескольких ракурсов. Одновременно с того же ракурса производились измерения яркости с помощью яркомера Konika Minolta LS-100 для возможности нормировки фотографии. Для станций, освещение которых было выполнено с помощью открытых источников, производились измерения яркости для точки с максимальной яркостью в сцене, яркость самого источника света. Для станций, освещение которых было выполнено с помощью закарнизной подсветки, были сняты измерения яркости самого яркого блика в сцене [10].

Средняя яркость станции определялась в процессе обработки фотографий при нормировке с помощью программного комплекса Matlab (рис. 5).

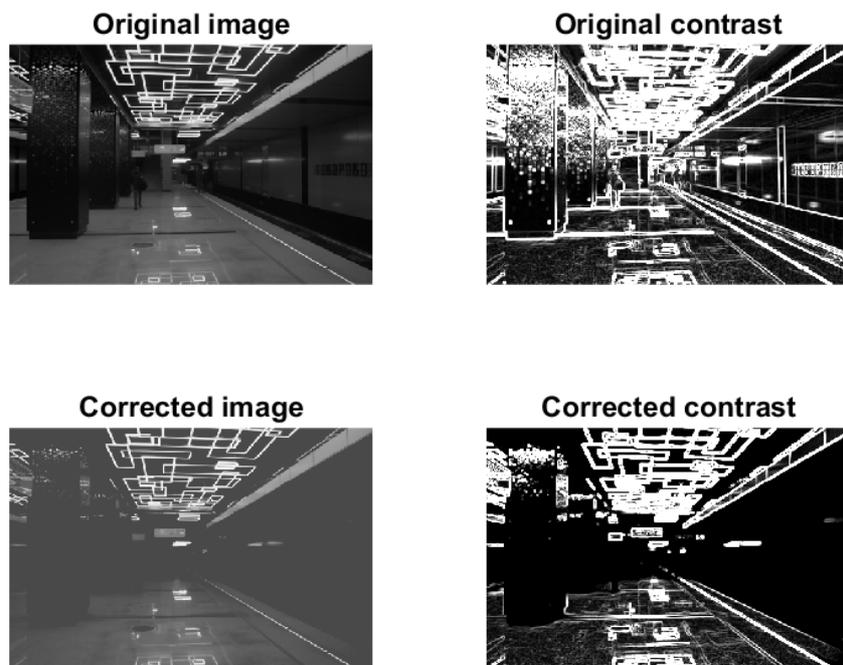


Рис. 5. Обработка фотографий станции Говорово

После обработки изображений в программе по расчету критерия качества получили значения критерия для всех обследуемых станций (21 станция на новых ветках московского метрополитена). Для наглядности приведем карту рассеяния оценок наблюдателей в зависимости от средней яркости по фотографии на рис. 6. Корреляция результатов была оценена по шкале Чеддока (табл. 2) и составляет больше 0,7 (высокая).

Таблица 2. Шкала Чеддока

Коэффициент корреляции	0,1 — 0,3	0,3 — 0,5	0,5 — 0,7	0,7 — 0,9	0,9 — 0,99
Связь	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая

На рис. 6 наглядно видно, как точки со значениями критерия качества и оценки наблюдателей стягиваются вдоль мнимой прямой. Этот факт и коэффициент корреляции позволяют сделать вывод об успешной проверке критерия качества в реальных условиях на основе яркостных изображений.

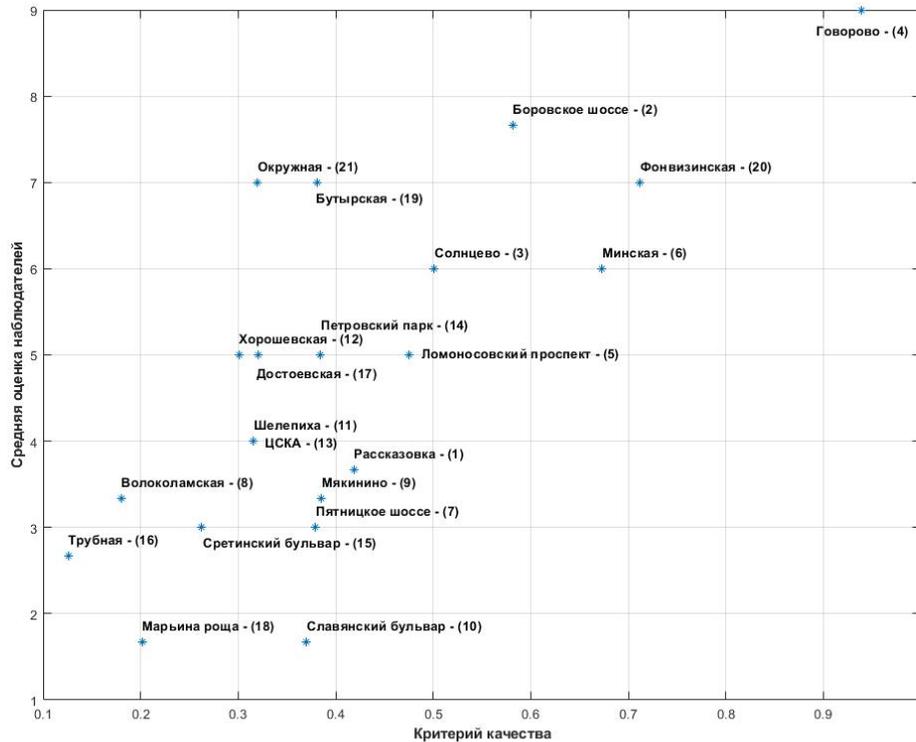


Рис. 6. Рассеяние средней оценки наблюдателей и критерия качества освещения

Заключение

Согласно анализу полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что ощущения наблюдателя зависели от совокупности факторов, а именно от направления наблюдения и распределения яркости во всех точках сцены.

Формулировка предложенного критерия качества правомерна и, имея возможность определять пространственно-угловое распределение яркости в сцене, зная среднюю яркость фона, можно получить значение критерия качества, которое будет означать, что чем выше его значение, тем дискомфортнее находиться в помещении при выполнении определенной зрительной задачи.

Обсуждение

В этой статье был апробирован в лабораторных и реальных условиях новый подход к оценке качества освещения, который в наибольшей степени определяет степень комфорта при нахождении в помещении с определенной осветительной установкой. Предложенная формулировка критерия качества освещения позволяет определять качество осветительной установки на основании пространственного-углового распределения яркости. Решается задача оценки осветительной установки в реальных условиях без ранее принятых допущений о равномерном распределении блёского источника малоуглового размера, как проводится эта оценка согласно обобщенному показателю дискомфорта UGR.

Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования сформулированного критерия качества на примере других реальных объектов для набора статистики и стандартизации условий его применения.

Список литературы:

References:

1. Budak, V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method / V. Budak, V. Zheltov, R. Notfulin, V. Chembraev // Journal of WSCG. – 2016. – Pp.189-196.
2. Kajiya, J.T. The rendering equation / J.T. Kajiya, // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol.20. – No. 4. – Pp. 143-150.
3. Schulz, A. Guide to Human Centric Lighting (HCL) / A. Schulz // Licht.wissen. – 2018. – No. 21. – P. 5.
4. Ferree, C. The efficiency of the eye under different conditions of lighting / C. Ferree, G. Rand // Trans. Illum. Eng. Soc. IES. – 1915. – Vol.10. – P.407-447.
5. Гершун, А.А. К вопросу о влиянии освещения на видимость / А.А. Гершун, Д.Н. Лазарев // Светотехника. – 1935. – №4. – С.1-8.
6. Larson, G.W. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes / G.W. Larson, et al. // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 1997. – Vol. 3. – No. 4. – P. 291–306.
7. Mackay, D. M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws / D.M. Mackay // Science. – 1963. – Vol.139. – P.1213-1216.
8. Budak, V.P. Evaluation of illumination quality based on spatial-angular luminance distribution / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, R.Sh. Notfullin // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25. – No. 4. – P. 24-31.
9. Будак, В.П. Новый критерий качества освещения и его апробация в лабораторных условиях // В.П. Будак, В.С. Желтов, Т.В. Мешкова, В.Д. Чембаев / Вестник МЭИ. – 2020. – №1. – С. 73-81.
10. Budak, V.P. Experimental study of the new criterion of lighting quality based on analysis of luminance distribution at Moscow metro stations / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev, // Light & Engineering, 2020. – Vol. 28, No. 3. – P.98–105.

Статья поступила в редколлегию 28.10.2020

Рецензент: д-р. техн. наук, доцент,

Брянский государственный технический университет

Захарова А.А.

Статья принята к публикации 16.11.2020.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Будак Владимир Павлович

д.т.н., профессор кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

E-mail: budakvp@gmail.com

Budak V.P.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Light Engineering sub-department, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

E-mail: budakvp@gmail.com

Мешкова Татьяна Валерьевна

к.т.н., старший научный редактор ООО «Редакция журнала Светотехника»

E-mail: tvmesh@mail.ru

Meshkova T.V.

Ph.D., senior scientific editor of LLC «Editorial Board of the journal Light and Engineering», Moscow, Russia

E-mail: tvmesh@mail.ru

УДК: 628.987

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-25-32

В.С. Желтов, В.Д. Чембаев

РАСЧЕТ UGR НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ

В статье рассматривается расчёт объединённого показателя дискомфорта (UGR) на основе пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ). В качестве метода моделирования ПУРЯ предлагается метод локальных оценок метода Монте-Карло. На основе ПУРЯ появляется возможность оценки качества освещения по многим критериям, в том числе по общепринятому UGR. UGR позволяет предварительно оценивать уровень комфорта выполнения зрительной задачи в осветительной установке. Предложен новый метод «попиксельного» расчёта UGR на основе ПУРЯ.

Ключевые слова: пространственно-угловое распределение яркости, UGR, глобальное освещение.

V.S. Zheltov, V.D. Chembaev

UGR CALCULATION BASED ON THE LUMINANCE SPATIAL-ANGULAR DISTRIBUTION

The article has considered the calculation of the unified glare rating (UGR) based on the luminance spatial-angular distribution (LSAD). The method of local estimations of the Monte Carlo method is proposed as a method for modeling LSAD. On the basis of LSAD, it becomes possible to evaluate the quality of lighting by many criteria, including the generally accepted UGR. UGR allows preliminary assessment of the level of comfort for performing a visual task in a lighting system. A new method of "pixel-by-pixel" calculation of UGR based on LSAD is proposed.

Keywords: luminance spatial-angular distribution, UGR, global illumination.

1. Введение

При проектировании осветительных установок инженер-проектировщик должен решать одновременно несколько задач. С одной стороны, при помощи правильно подобранного освещения можно наиболее ярко выразить дизайнерский замысел помещения и его предназначения. В то же время, освещение должно помогать решать поставленную зрительную задачу находящимся в этом помещении посетителям. Для достижения данных целей инженер-проектировщик обязан опираться на существующие на сегодняшний день нормативные документы, определяющие как качественные, так и количественные показатели освещения.

В современных нормативных документах для неспециальных осветительных установок (офисные, производственные, торговые и прочие) в качестве количественной характеристики нормируется освещённость и различные параметры, производные от нее (отношение минимальной освещённости к максимальной и т.п.). Как правило, при проектировании рассчитывается горизонтальная освещённость на интересующих поверхностях, так как пол или рабочий стол. Однако глаз человека реагирует на отраженный свет, но не на освещённость. Например, в абсолютно чёрной комнате можно добиться любой освещённости на стенах, но видно всё равно ничего не будет. Таким образом, необходимо иметь возможность нормировать яркость.

Среди множества качественных показателей для неспециальных установок существует объединенный показатель дискомфорта:

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25 \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2}}{L_a} \right], \quad (5)$$

где L_i – яркость блёского источника, кд/м², ω_i – угловой размер блёского источника, стер, p_i – индекс позиции блёского источника относительно линии зрения, L_a – яркость адаптации, кд/м².

UGR позволяет охарактеризовать качество освещения всего одним числом и вошел в нормативные документы [1]. При проектировании не специальных ОУ, таких как торговые, офисные, общественные, производственные помещения и др., инженер-проектировщик должен согласно нормам учитывать освещенность в качестве количественной характеристики и UGR для качественной оценки освещения. UGR позволяет определить – насколько комфортно человеку будет находиться в помещении с проектируемой осветительной установкой.

Формула (1) справедлива лишь для малоугловых равномерных блёских источников. Т.е. протяженные неравномерные блики она учесть не может в принципе. Важно отметить, что в основе таких популярных в светотехническом проектировании программ моделирования как DIALux и Relux лежит метод конечных элементов, и решается в них не уравнение глобального освещения относительно яркости, а уравнение излучательности в диффузном приближении. Таким образом, невозможно учесть влияние вторичных бликов. Существенным шагом вперед в светотехническом проектировании становится внедрение DIALux Evo основанного на методе фотонных карт. Однако методика расчета UGR в нем осталась прежней.

Таким образом, на сегодняшний день ОУ проектируются, лишь отдаленно оценивая, насколько комфортно будет человеку в ней находиться и решать зрительную задачу и нормируют невидимую характеристику – освещенность. Однако еще в начале прошлого века было высказано предположение, что ключевую роль в вопросе комфорта играет пространственно-угловое распределение яркости [2].

В данной статье предложен метод уточнения показателя дискомфорта UGR, при помощи метода попиксельного расчёта.

2. Пространственно-угловое распределение яркости

В основе моделирования осветительных установок лежит хорошо известное в компьютерной графике уравнение глобального освещения, впервые полученное James T Kajiya в 1986 году [3]

$$L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}) = L_0(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}) + \frac{1}{\pi} \int L(\mathbf{r}', \hat{\mathbf{l}}') \sigma(\mathbf{r}; \hat{\mathbf{l}}, \hat{\mathbf{l}}') |(\hat{\mathbf{N}}, \hat{\mathbf{l}}')| d\hat{\mathbf{l}}', \quad (6)$$

где $L(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}})$ – яркость в точке \mathbf{r} по направлению $\hat{\mathbf{l}}$, $\sigma(\mathbf{r}; \hat{\mathbf{l}}, \hat{\mathbf{l}}')$ – двунаправленная функция отражения (отражения или пропускания), L_0 – прямая компонента яркости, непосредственно от источников, $\hat{\mathbf{N}}$ – нормаль в точке \mathbf{r} к элементу поверхности сцены.

Уравнение записано относительно точки \mathbf{r} , находящейся на поверхности сцены, однако в задаче оценки качества освещения, наблюдатель находится в объеме сцены. После ряда преобразований, можно получить уравнение, записанное относительно точки в объеме сцены [4]

$$L_V(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}) = L_0(\mathbf{r}_\Sigma, \hat{\mathbf{l}}) + \frac{1}{\pi} C_{01} \int L(\mathbf{r}_1, \hat{\mathbf{l}}') \sigma(\mathbf{r}_\Sigma; \hat{\mathbf{l}}, \hat{\mathbf{l}}') G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_\Sigma) \times \\ \times \delta(\Pi(\mathbf{r} - |\mathbf{r} - \mathbf{r}_\Sigma| \hat{\mathbf{l}})) \delta\left(\hat{\mathbf{l}} - \frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}\right) d^3 r_1 \frac{d^3 r_\Sigma}{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_\Sigma)^2} \quad (7)$$

где $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_\Sigma)$ – ядро уравнения.

Уравнение (3) описывает пространственно-угловое распределение яркости (ПУРЯ) в каждой точке пространства сцены. Что позволяет подойти к вопросу оценки качества освещения на основе анализа непрерывного пространственно-углового распределения яркости.

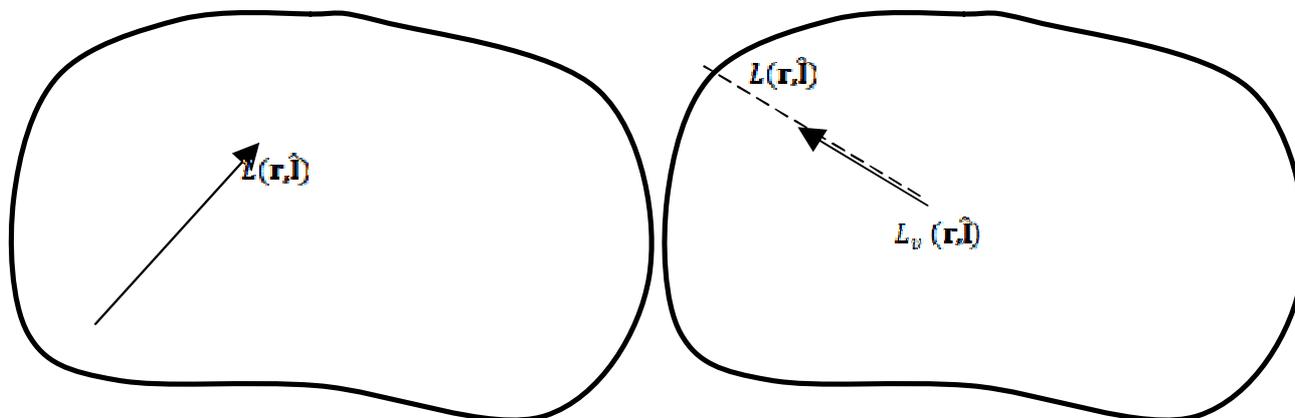


Рис. 1. Положения точек в пространстве сцены: слева – изображена точка на поверхности сцены, на рисунке справа – точка в пространстве сцены, где требуется определить яркость в заданном направлении

В 1997 году была опубликована работа «Instant Radiosity» [5]. Эта публикация положила начало новому подходу в решении уравнения ГО, которое в конечном счете в компьютерной графике не получило широкого распространения. Автор сформулировал алгоритм нового метода в феноменологическом подходе, не дав при этом полного его математического обоснования, используя лишь разрозненные формулы для описания отдельных частей процесса моделирования. Насколько мы видим, на сегодняшний день полной формулировки алгоритма так и нет.

В нашей работе мы предлагаем применить локальные оценки метода Монте-Карло к решению уравнения глобального освещения [6].

3. UGR на основе пространственно-углового распределения яркости

3.1. Влияние яркости отраженных светильников на UGR

Расчёт UGR в современных программах, таких как DIALux Evo, Relux, ведётся только для первичных блёских источников – непосредственно светильников. Однако в реальных ОУ в некоторых условиях может вовсе не быть блёских источников в поле зрения, но наблюдатель будет испытывать дискомфорт из-за наличия большого числа отражённых бликов.

В рамках работы был спроектирован в DIALux коридор, аналогичный коридору, расположенному на 5-м этаже кафедры светотехники МЭИ. Визуализация, полученная в DIALux представлена на рисунке 2.

Объединённый показатель дискомфорта в данном случае составил 20, для представленной на рисунке видовой точки по данным программы DIALux. Также был проведён «попиксельный» расчёт в созданной программе, в результате было получено значение UGR 20.49. После чего с помощью трассировки лучей были также получены изображения рассчитанной сцены при наличии у пола зеркальной компоненты 10, 20, 30, 40, 50 и 60 %. На рисунке 3 представлены визуализации коридора при коэффициентах отражения пола 30 и 60 %.

В результате были получены значения UGR представленные на рисунке 4.

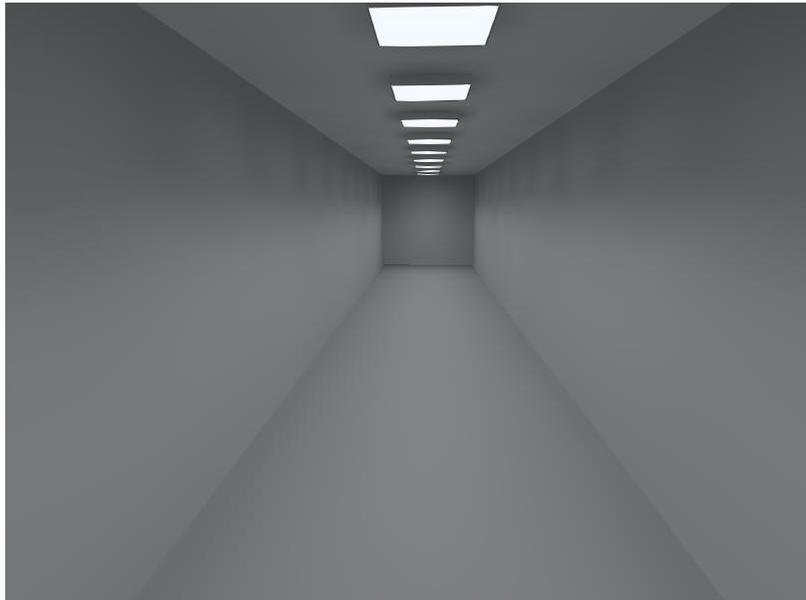


Рис. 2. Визуализация коридора

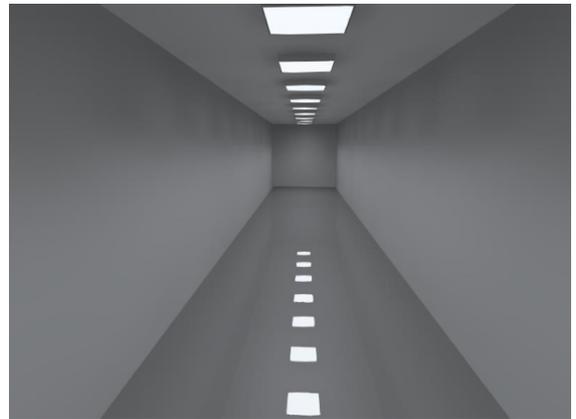
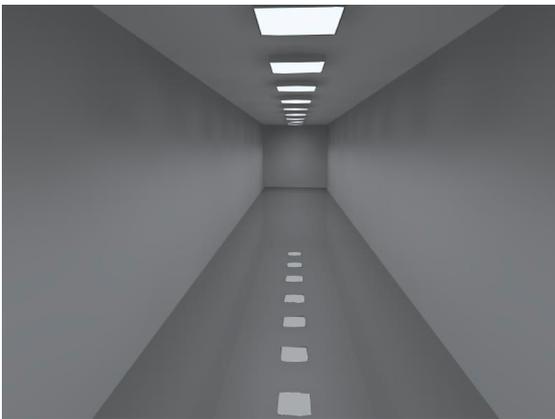


Рис. 3. Визуализация коридора при наличии зеркальной компоненты 30 и 60 %

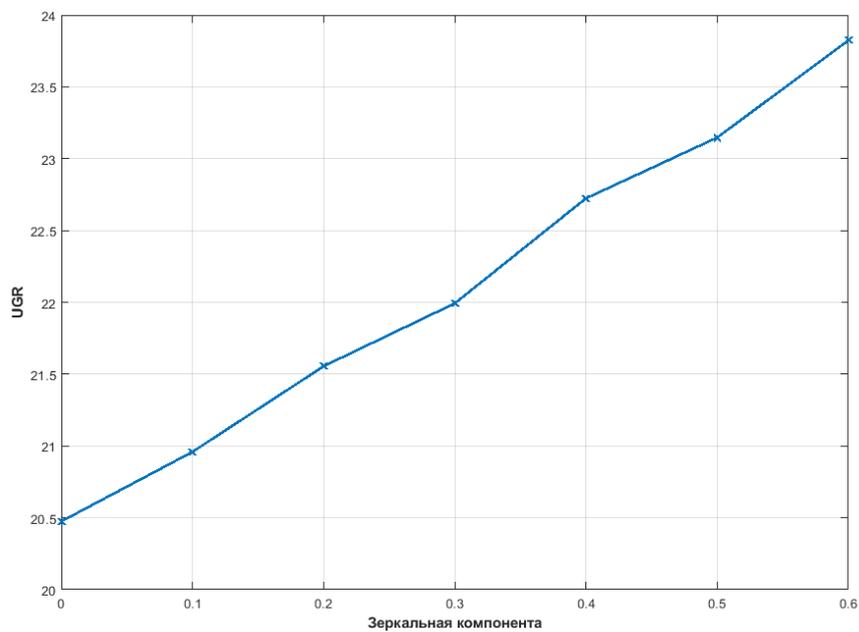


Рис. 4. Зависимость UGR от зеркальной компоненты отражения пола

По графику хорошо видно, что наличие блёских отражений на полу в коридоре увеличивает значение UGR, что является вполне закономерным и очевидным.

Таким образом, расчёт пространственно-углового распределения яркости позволяет более точно учитывать UGR. Отметим, что с точки зрения применяемых алгоритмов это возможно уже сейчас в программе DIALux Evo – в основе, которой лежит метод фотонных карт, который позволяет учитывать произвольный закон отражения и вычислять непосредственно яркость.

3.2. Влияние неравномерности яркого пятна на UGR при «попиксельном» расчете

В обычной инженерной практике при расчёте по яркостной фотографии были бы выделены отдельно блёские источники, яркость которых была бы взята как средняя. Очевидно, что при таком подходе и при расчёте попиксельно будет разница. В рамках работы было рассмотрено влияние углового размера неравномерного источника на UGR. В качестве источника был взят круглый блёский источник с распределением яркости по Гауссу, расположенный точно на линии зрения. Расчёт был проведен для двух источников с разной степенью неравномерности, показанных на рисунке 5.

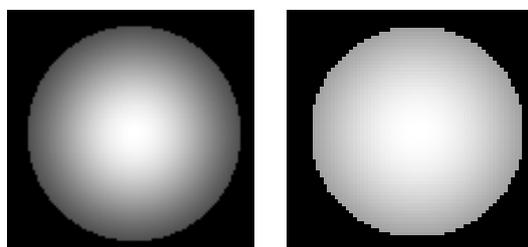


Рис. 5. Круглые блёские источники с распределением яркости по Гауссу

Результаты расчёта в зависимости от углового размера источника показаны на рисунке 6 для первого относительно равномерного источника и на рисунке 7 для более неравномерного.

Очевидно, что чем выше неравномерность источника, тем выше будет расхождение. Также, с ростом размера источника ошибка нарастает из-за влияния индекса позиции, который входит в формулу в квадрате и очень сильно меняется непосредственно в таблице с ростом угловых размеров источника.

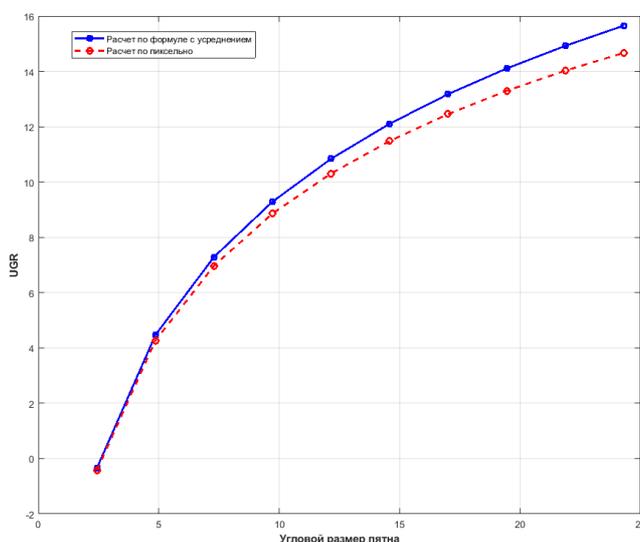


Рис. 6. Зависимость UGR от углового размера блёского источника

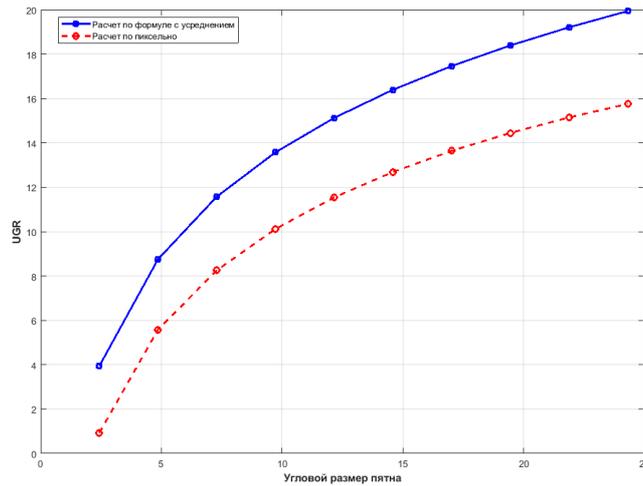


Рис. 7. Зависимость UGR от углового размера блёского источника

3.3. Попиксельный расчёт UGR

Полученные в эксперименте [7] яркостные фотографии, также были обработаны в созданной программе расчета UGR по пикселям. В качестве яркости адаптации была взята средняя яркость по полю. На рисунке 8 показана фотография станции Рассказовка и изображение блёских пикселей, которые вошли в расчёт UGR. В результате расчёта для каждой станции нескольких фотографий был получен средний UGR для станции. Формула UGR может использоваться для равномерных источников с угловыми размерами до 20 градусов, при этом формально в ГОСТ 33392-2015 не указано, на каком расстоянии они должны быть. Т.е. формально каждый яркий пиксель изображения может быть рассмотрен как точечный источник

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{P_s^2} \right],$$

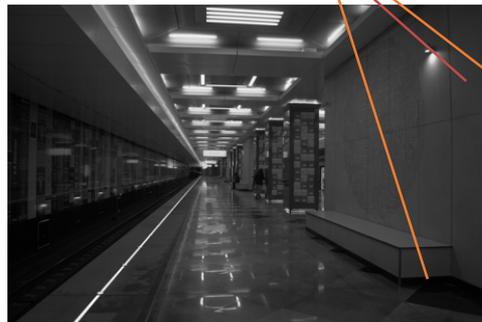


Рис. 8. Фотография станции Рассказовка и изображение пикселей, вошедших в расчёт UGR

После чего были построены карты рассеяния и вычислен коэффициент корреляции между значениями предложенного в работе критерия качества и UGR, а также между оценками наблюдателей и UGR. Полученные карты рассеяния приведены на рисунках 9 и 10.

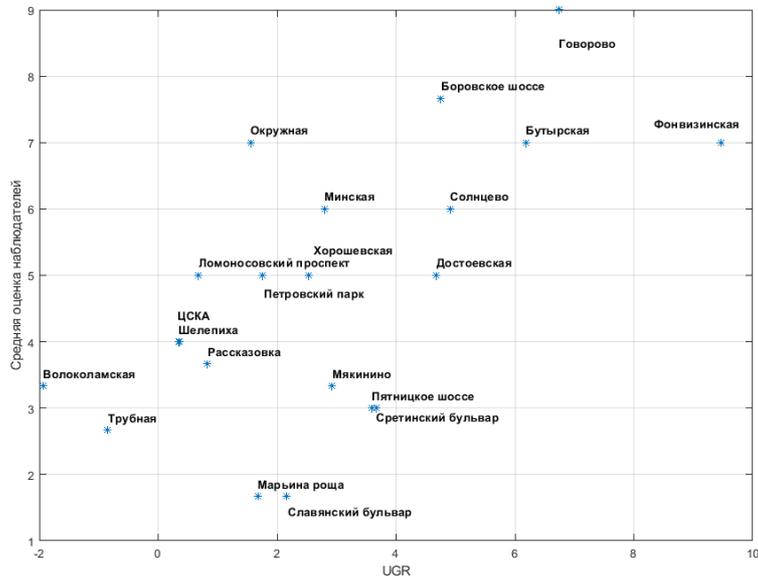


Рис. 9. Карта рассеяния UGR от оценки наблюдателей

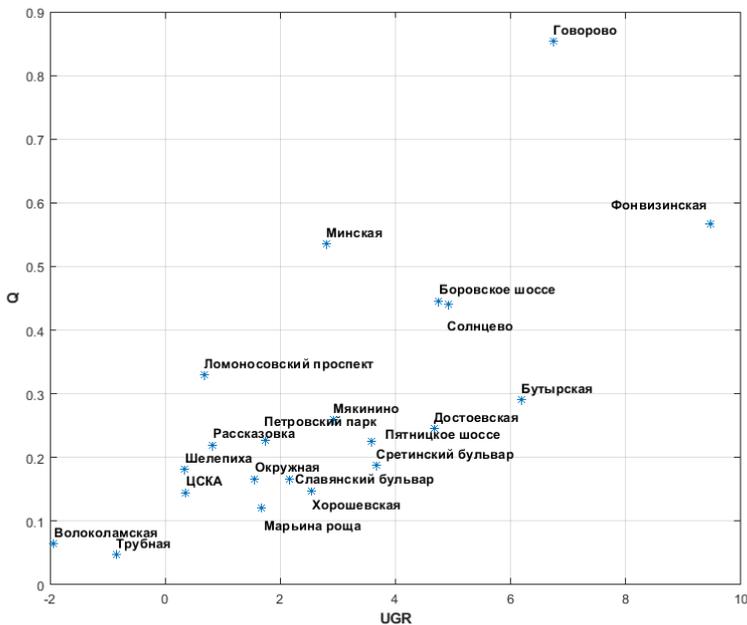


Рис. 10. Карта рассеяния UGR от предложенного критерия качества

4. Выводы

Из исследований еще 1915 года [2] известно, что одним из ключевых факторов, влияющих на восприятие зрителем качества освещения, является именно пространственно-угловое распределения яркости. До недавнего времени не было возможности моделировать

распределения яркости, однако сегодня уже есть и математические методы, и ряд готовых программных реализаций, позволяющих это делать. Например, метод локальных оценок метода Монте-Карло, или метод Фотонных карт. Одним из ключевых критериев оценки качества внутреннего освещения по сей день является UGR. Однако в классическом представлении UGR учитывает лишь вклад от малоугловых равномерных блёских источников света. Предложенный метод расчёта UGR на основе пространственно-углового распределения яркости, позволяет также учитывать вклад и от протяжённых неравномерных, в т.ч. отражённых источников, что позволяет уточнить оценку качества освещения, на основе критерия UGR.

Список литературы:

1. ГОСТ 33392-2015 Здания и сооружения. Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200126373> (дата обращения: 09.11.2020).
2. Ferree, C. The efficiency of the eye under different conditions of lighting / C. Ferree, G. Rand // Trans. Illum. Eng. Soc. IES. – 1915. – Vol.10. – P.407-447.
3. Kajiya, J.T. The rendering equation / J.T. Kajiya, // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol.20. – No.4. – Pp.143-150.
4. Budak, V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method / V. Budak, V. Zheltov, R. Notfulin, V. Chembraev // Journal of WSCG. – 2016. – Pp.189-196.
5. Keller, A. Instant radiosity / A. Keller // SIGGRAPH '97 Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. – 1997. – Pp. 49-56 6.
6. Budak, V.P. Evaluation of illumination quality based on spatial-angular luminance distribution / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, R.Sh. Notfullin // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25. –No. 4. – P. 24-31.
7. Budak, V.P. Experimental study of the new criterion of lighting quality based on analysis of luminance distribution at Moscow metro stations / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev, // Light & Engineering, 2020. – Vol. 28, No. 3. – P.98–105.

References:

1. GOST 33392-2015 Zdanija i sooruzhenija. Metod opredelenija pokazatelja diskomforta pri iskusstvennom osveshhenii pomeshhenij // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200126373> (data obrashhenija: 09.11.2020).
2. Ferree, C. The efficiency of the eye under different conditions of lighting / C. Ferree, G. Rand // Trans. Illum. Eng. Soc. IES. – 1915. – Vol.10. – P.407-447.
3. Kajiya, J.T. The rendering equation / J.T. Kajiya, // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol. 20. – No. 4. – Pp. 143-150.
4. Budak, V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method / V. Budak, V. Zheltov, R. Notfulin, V. Chembraev // Journal of WSCG. – 2016. – Pp. 189-196.
5. Keller, A. Instant radiosity / A. Keller // SIGGRAPH '97 Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. – 1997. – Pp. 49-56 6.
6. Budak, V.P. Evaluation of illumination quality based on spatial-angular luminance distribution / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, R.Sh. Notfullin // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25. – No. 4. – P. 24-31.
7. Budak, V.P. Experimental study of the new criterion of lighting quality based on analysis of luminance distribution at Moscow metro stations / V.P. Budak, V.S. Zheltov, T.V. Meshkova, V.D. Chembraev, // Light & Engineering, 2020. – Vol. 28, No. 3. – P.98–105

Статья поступила в редколлегию 13.11.2020.

Рецензент:

канд. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 25.11.2020.

Сведения об авторах:

Желтов Виктор Сергеевич

к.т.н., ассистент кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

E-Mail: zheltov@list.ru

Чембаев Виктор Дмитриевич

аспирант кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

E-Mail: chembervint@gmail.com

Information about authors:

Zheltov V.S.

phD., assistant department of lighting technology, Moscow Power Engineering Institute

E-Mail: zheltov@list.ru

Chembraev V.D.

post graduate student department of lighting technology, Moscow Power Engineering Institute

E-Mail: chembervint@gmail.com

УДК: 519.65

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-33-39

Д.И. Копелиович, А.Л. Сафонов, Р.В. Кондратенко

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В 3D-ТРЕНАЖЕРАХ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В статье представлен подход к использованию методов искусственного интеллекта при разработке имитационных профессиональных тренажеров. Выполнен анализ применения инструментов искусственного интеллекта сред разработки 3D-приложений, рассмотрены типовые компоненты и их функции, выявлены недостатки, ограничивающие использование данных методов в профессиональных тренажерах. Предложенный подход основан на адаптации стандартных этих инструментов и дополнения их функционально-логическими моделями, выполняющими управляющие функции. В качестве примера предложена реализация подхода в среде межплатформенной разработке Unity. Результаты работы апробированы при разработке имитационных тренажеров в области охраны труда.

Ключевые слова: компьютерные тренажеры, искусственный интеллект, игровая платформа, сложные технические системы.

D.I. Kopeliovich, A.L. Safonov, R.V. Kondratenko

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN 3D SIMULATORS BASED ON FUNCTIONAL AND LOGICAL MODELS

The article presents an approach to the use of artificial intelligence methods in the development of imitation professional simulators. The analysis of the use of artificial intelligence tools for the development of 3D applications is carried out, typical components and their functions are considered, the drawbacks that limit the use of these methods in professional simulators are revealed. The proposed approach is based on adapting these standard tools and supplementing them with functional-logical models that perform control functions. As an example, the implementation of the approach in the Unity cross-platform development environment is proposed. The results of the work have been tested in the development of simulators in the field of labor protection.

Keywords: computer simulators, artificial intelligence, game engine, complex technical systems.

Актуальность применения искусственного интеллекта в имитационных профессиональных тренажерах

В настоящее время набирает популярность применение трехмерных компьютерных имитационных тренажеров, позволяющих сформировать приемлемое качество подготовки

специалистов в профессиональной области. Данный подход позволяет сократить издержки, связанные с использованием дорогостоящей техники. Кроме этого, значительно сокращаются риски в области безопасности труда, так как взаимодействие неподготовленного персонала с источниками опасности сводится к минимуму при таком подходе.

Для формирования реалистичности тренажеров применение динамических сцен за счет использования различных видов действий: передвижение персонажей, изменение состояний технических объектов (работа механизмов) и т.п.

Изменение состояния сцены обеспечивается широким набором инструментов. Важной особенностью в современных приложениях, к которым относятся компьютерные имитационные тренажеры, является использование искусственного интеллекта. Существует несколько определений искусственного интеллекта (ИИ), одно из них говорит о том, что ИИ – способность цифрового компьютера или управляемого компьютером робота выполнять задачи, обычно связанные с разумными существами [2, с. 41-45]. Сфера же применения искусственного интеллекта очень обширна. В каждом виртуальном приложении необходим взаимодействующий с пользователем искусственный интеллект, чаще всего в виде вспомогательных элементов. В некоторых случаях ИИ должен мешать пользователю, в других – помогать ему, но у всех производимых компьютером действий существует некоторое сходство. В зависимости от требований проекта, ИИ может обеспечивать различный уровень поведения его элементов. Такими требованиями могут быть умные подсказки в зависимости от ситуации или различного рода действия в виртуальном мире.

Системы разработки 3D-приложений (игровые платформы) содержат инструментарий для быстрого проектирования простейших поведений объектов на базе искусственного интеллекта. Это прежде всего поведение игровых персонажей, не управляемых человеком, Non-Player Character (NPC): передвижение по модели (сцене), взаимодействие друг с другом, с персонажем, управляемым пользователем.

Реализация методов искусственного интеллекта на основе использования инструментов игровых платформ

Если раньше графические приложения создавались буквально с «нуля», то сейчас их разработка подразумевает использование инструментов различного уровня сложности. Это позволяет разработчикам сократить время проекта, повысить его качество. Всё это относится и к части процесса разработки – проектированию и реализации искусственного интеллекта. Рассмотрим в качестве примера реализацию искусственного интеллекта на основе использования инструментов среды Unity.

Межплатформенная среда для разработки Unity предоставляет разработчику настраиваемую навигационную систему. Данная система позволяет создавать виртуальных персонажей, которые могут разумно перемещаться по игровому миру, используя навигационные сетки, которые автоматически создаются по данным геометрии сцены. Динамические препятствия, создаваемые пользователем, позволяют изменять навигацию персонажей во время выполнения, в то время как ссылки вне сетки позволяют создавать определенные действия, такие как открытие дверей или спрыгивание с выступа. На рис. 1 показана схема взаимодействия всех компонентов, которые относятся к интеллектуальным возможностям в Unity.

Основные компоненты системы: NavMesh (сокращенно от Navigation Mesh) – это структура данных, которая описывает проходимые поверхности игрового мира и позволяет найти путь из одного проходимого места в другое [4, с. 230-239]. Структура данных строится, или выпекается, автоматически из геометрии, которая была создана пользователем. На рис. 2 представлено визуальное отображение навигационной сетки (NavMesh).

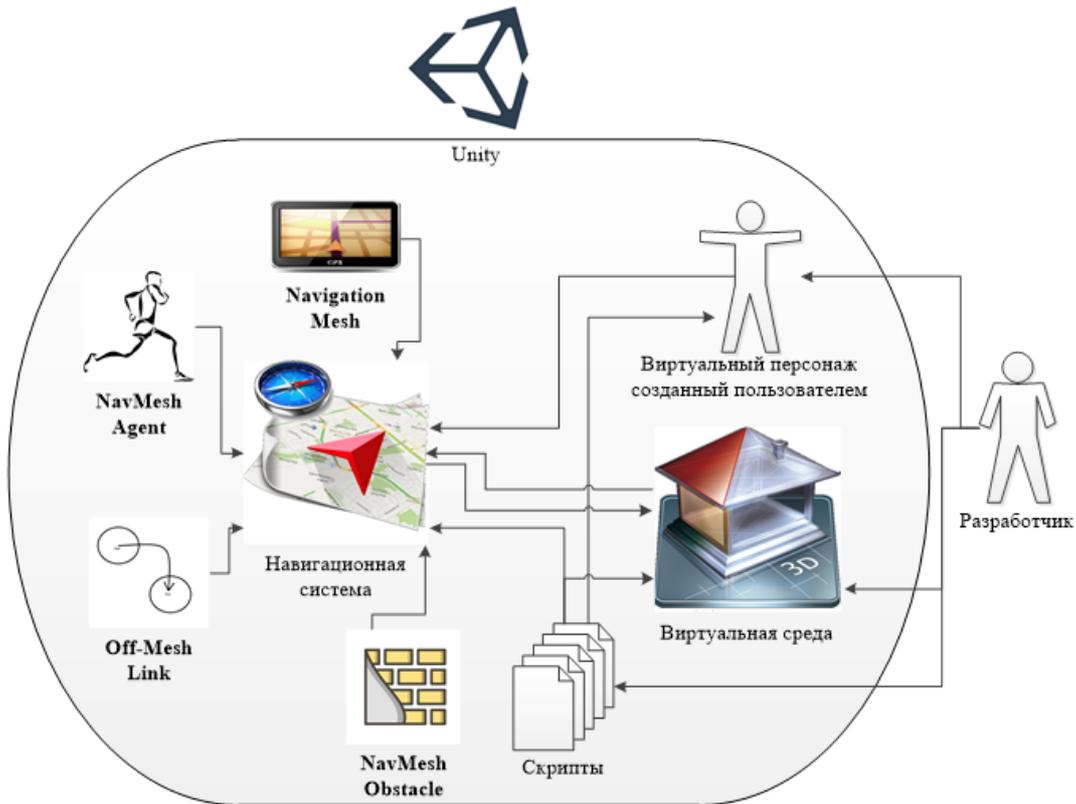


Рис. 1. Схема процесса разработки искусственного интеллекта в среде Unity

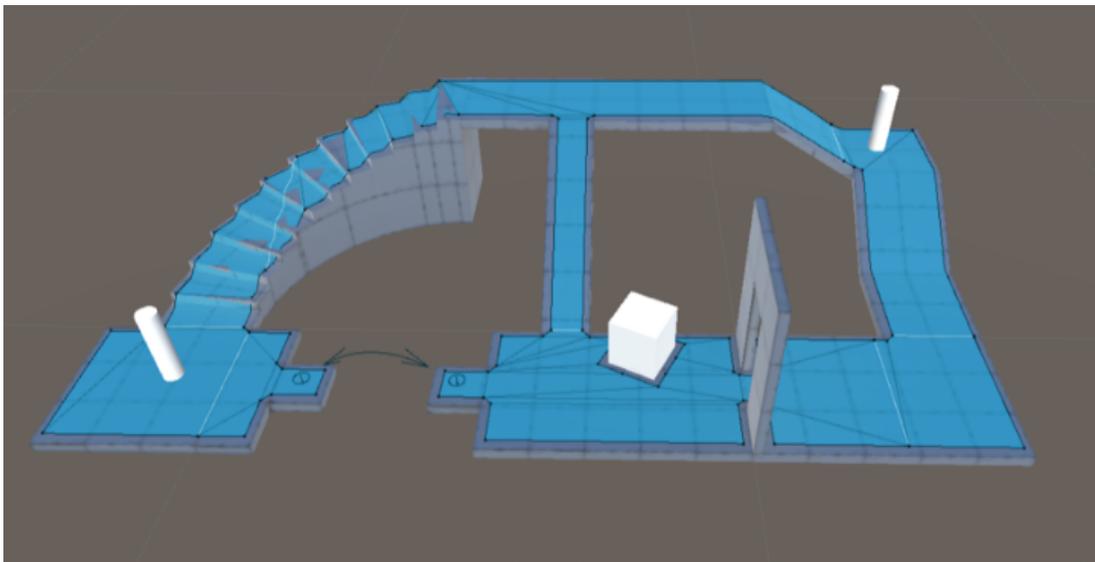


Рис. 2. Навигационная сетка

Компонент NavMesh Agent помогает создать виртуальных персонажей, которые избегают друг друга при движении к своей цели [3, с. 55-59]. Агенты рассуждают об игровом мире с помощью навигационной маски, и они знают, как избегать друг друга, а также движущихся препятствий.

Компонент Off-Mesh Link позволяет включать навигационные ярлыки, которые не могут быть представлены с помощью проходимой поверхности. Данный компонент позволяет описать элементы, не связанные с навигационной сеткой, но участвующие в перемещении NPC. Это могут быть двери, лифты, всевозможные препятствия, порталы.

Компонент Nav Mesh Obstacle, позволяет описать движущиеся препятствия, которые агенты должны избегать во время навигации на сцене. Бочка или ящик, управляемые физической системой, являются хорошим примером препятствия. В то время как препятствие движется, агенты делают все возможное, чтобы избежать его, но как только препятствие становится неподвижным, оно создает в навигационной сетке (NavMesh) недоступную для перемещения область, чтобы агенты могли изменить свои пути, чтобы обойти его, или если неподвижное препятствие блокирует путь или пути, агенты могут найти другой маршрут.

Таким образом, если обобщить всё выше сказанное, то можно сделать вывод о том, что использование игровых платформ предоставляет удобную, визуально наглядную, навигационную сетку для виртуальных персонажей. Однако, использование только готовых компонентов, предлагаемых игровыми платформами, является не эффективным подходом. При этом нетиповые ситуации реализовать с использованием предложенных средств проблематично, а иногда и невозможно в принципе. Примерами таких являются:

- различные веса маршрутов;
- штрафные баллы за прохождение через препятствия;
- выбор альтернативного варианты действий (например, тушить пожар или эвакуироваться) и др.

Для получения лучших результатов требуется разработка функционально-логических моделей, позволяющих расширить и уточнить поведение элементов. При этом необходимо учитывать специфику предметной области, в данном случае профессиональных тренажеров в области электробезопасности.

Примеры использования искусственного интеллекта в компьютерных профессиональных тренажерах

Ниже представлены примеры проектов, которые прямо или косвенно связаны с использованием методов искусственного интеллекта в компьютерных профессиональных тренажерах. Одним из таких примеров, является симулятор аварийных ситуаций, компании «Кузбасс-Цот» (рис. 3). В данном приложении при помощи 3D моделирования визуализируются обстоятельства и причины отдельных характерных несчастных случаев, аварий, пожаров, произошедших на предприятии и других аналогичных производствах из-за некомпетентных действий рабочих. Ключевым компонентом в симуляции рабочей ситуации, является использование интеллектуальных возможностей Unity. Разработчики виртуального тренажёра активно использовали навигационную сетку для перемещения NPC и программно для каждого персонажа прописывали конкретное место, куда он должен был прийти и где какое-то действие должен был воспроизвести. Таким образом, настоящего взаимодействия NPC с человеком в данной системе не наблюдается.

Аналогичным примером нерационального использования интеллектуальных возможностей служит компьютерный имитационный тренажёр «Воздушная линия электропередач» компании «Диполь» (рис. 4). Данная программа имитирует процедуру проведения осмотра объекта в виртуальном режиме и позволяет оценивать состояние трассы воздушных линий электропередач, приставок, стоек, подкосов и элементов опор, проводов и элементов их креплений, заземляющих устройств, составляющих оборудования подстанции и т.д. Стоит отметить, что виртуальные персонажи, которыми не управляет пользователь, играют в данном приложении косвенную роль, иначе говоря, с их помощи создаётся лишь атмосфера реальной ситуации. Логика данных NPC вполне примитивна: «Пройти 100м влево, посмотреть, что вокруг и вернуться обратно». Данная последовательность действий выполняется постоянно. Данная система демонстрирует пример использования стандартных инструментов игровой платформы для проектирования искусственного интеллекта.



Рис. 3. Симулятор аварийных ситуаций компании «Кузбасс-Цот»



Рис. 4. Симулятор аварийных ситуаций компании «Диполь»

Модификация методов искусственного интеллекта для профессиональных тренажеров

В рассматриваемом подходе решение существующей проблемы разработки сложных алгоритмов действия искусственного интеллекта заключается в определении в нужный момент конкретного действия искусственного интеллекта. Выполнение данной задачи сводится к выполнению алгоритма, схема которого приведена на рис. 5.

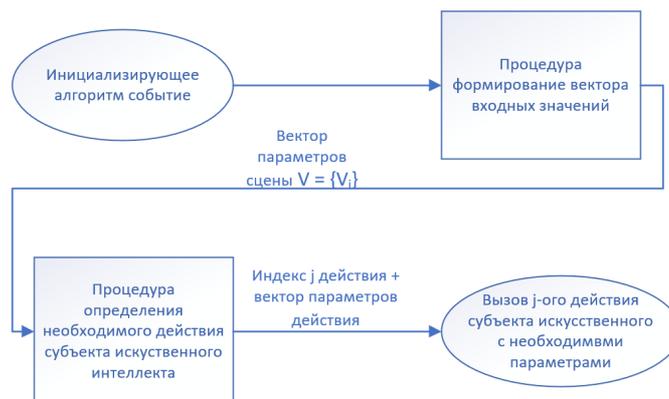


Рис. 5. Алгоритм действия искусственного интеллекта

Здесь основными процедурами являются:

1) **Определения инициализирующего события** для начала поиска действий субъекта искусственного интеллекта (NPC). Это может быть в простейшем случае вызываемое

циклически действие (с постоянной периодичностью). В более сложных случаях может быть событие, связанное с действием одного из игровых персонажей, например, вход в определенную область сцены, поднятие предмета. Или изменение несвязанного с игроками параметра сцены, например, интенсивность пожара, конкретное игровое время. Т.е. характер и частота инициализирующих событий могут быть совершенно различны.

2) **Процедура формирования вектора входных значений.** Здесь имеется в виду определение всех значимых параметров для конкретного NPC, которые могут повлиять на результат – определение конкретного действия NPC и его параметров. Здесь может быть набор нескольких параметров (например, интенсивность пожара, наличие огнетушителя), при необходимости их количество может составлять до нескольких десятков параметров (положение игроков и др. NPC на сцене, различные базы данных, связанные с предметной областью). В результате выполнения процедуры формируется вектор параметров сцены $V = \{V_i\}$, где i – индекс параметра, $i = 1 \dots N$, где N – количество параметров.

3) **Процедура определения необходимого действия.** Наиболее сложная часть алгоритма, выбирающая – что конкретно должен сделать субъект искусственного интеллекта. Представляет собой определение конкретного действия из заранее определенных для NPC с индексом j , где $j = 1 \dots M$, где M – количество действий.

На данном этапе формируется также набор количественных параметров для выбранного j -ого действия. Входными значениями для данной процедуры является сформированный на предыдущем этапе вектор параметров сцены V .

Сам алгоритм определения нужного действия может быть простым, когда заранее указывается для конкретного значения вектора $V = V^1$ конкретное действие NPC. В то же время, подход предусматривает возможность использования сложных зависимостей, в том числе формируемых автоматически, например, при помощи нейронной сети, настроенной на заданном обучающем множестве.

4) **Исполнение действия субъекта искусственного интеллекта с вектором параметров действия.** Здесь происходит вызов исполнения конкретного действия из списка, заранее сформированного для NPC или группы NPC. Действие в общем случае может быть не атомарно, а состоять из нескольких компонентов, например:

- проигрывание анимации (изменение геометрической модели NPC, разработанное в среде геометрического моделирования);
- перемещение в конкретную точку сцены при помощи инструментов Unity;
- изменение элементов сцены (например, открытие дверей, выключение света, перемещение объектов);
- проигрывание звуковых и видео фрагментов (предназначенных для игроков – людей);
- различные количественные параметры: скорость передвижения по сцене, интенсивность изменения света, громкость звука и т.п.

Такие наборы заранее определены под конкретным номером действия, возможного для субъекта искусственного интеллекта.

Содержанием предложенного подхода является комбинирование встроенных возможностей Unity, с функционально-логическими моделями предметной области и средств интеллектуального анализа данных.

Выводы

Таким образом, предложенный подход, реализуемый в разработке функционала для расширения возможностей искусственного интеллекта игровых платформ, позволяет реализовывать более сложные алгоритмы, пригодные для использования в профессиональных тренажерах.

Предложенный подход апробирован при разработке имитационных тренажеров в области охраны труда «РискПроф-тренажеры» [5]. В частности, при помощи разработанных

моделей определен порядок действий при работе NPC: сварщик, офисный работник при выполнении штатных мероприятий и во время аварийных ситуаций.

Необходимо отметить, что предложенный подход является минимально достаточным решением для формирования элементов искусственного интеллекта в прикладных задачах. В то же время возможно его развитие. Основные направления, которые видятся нам перспективными:

- использование методов поиска решений. Здесь могут быть применены различные методы нелинейного программирования, поиска оптимального решения. Современным здесь видится использование, например, нейронных сетей;

- использование методов работы с данными, накопленными в ходе выполнения тренажеров и др. данными, связанными с выполнением заданий.

Список литературы:

1. Safonov, A.L. Multilevel Functional-logic Models in 3D-simulators of Electrical Equipment / A.L. Safonov, D.I. Kopeliovich // CEUR Workshop Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision (GraphiCon 2019). – Vol. 2485. – Pp. 232-235.
2. Красовский, А.А. Методология разработки искусственного интеллекта при создании компьютерных игр / А.А. Красовский // Информационно-компьютерные технологии в образовании и социальной сфере. – 2018. – №3. – С. 41-45.
3. Удалов, А.Д. Использование Compute Shader для навигации ИИ-агентов с применением Unity / А.Д. Удалов, А.Н. Архипов, А.В. Панов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. – 2019. – №3. – С. 55-59.
4. Бычковский, Д.Ю. Разработка искусственного интеллекта средствами графической платформы Unreal Engine 4 / Д. Ю. Бычковский, Ф. Н. Абу-Абед // Моделирование, оптимизация и информационные технологии/ – 2018. – №2(21). – С. 230-239.
5. РискПроф: сайт. – URL: <https://riskprof.ru/> (дата обращения: 11.09.2020).

References:

1. Safonov, A.L. Multilevel Functional-logic Models in 3D-simulators of Electrical Equipment / A.L. Safonov, D.I. Kopeliovich // CEUR Workshop Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision (GraphiCon 2019). – Vol. 2485. – Pp. 232-235.
2. Krasovskij, A.A. Metodologija razrabotki iskusstvennogo intellekta pri sozdanii komp'juternyh igr / A.A. Krasovskij // Informacionno-komp'juternye tehnologii v obrazovanii i social'noj sfere. – 2018. – № 3. – S. 41-45.
3. Udalov, A.D. Ispol'zovanie Compute Shader dljanavigacii II-agentov s primeneniem Unity / A.D. Udalov, A.N. Arhipov, A.V. Panov // Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovanija, problem nedrenija v proizvodstvo. – 2019. – № 3. – S. 55-59.
4. Bychkovskij, D.Ju. Razrabotka iskusstvennogo intellekta sredstvami graficheskoj platformy Unreal Engine 4 / D. Ju. Bychkovskij, F. N. Abu-Abed // Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii/ – 2018. – №2 (21). – S. 230-239.
5. RiskProf: sajt. – URL: <https://riskprof.ru/> (data obrashhenija: 11.09.2020).

Статья поступила в редколлегию 21.09.2020.

Рецензент:

*канд. биол. наук, доц., Брянский государственный технический университет
Кузьменко А.А.*

Статья принята к публикации 05.10.2020.

Сведения об авторах:

Копелиович Дмитрий Игоревич

к.т.н., доцент, директор Инжинирингового центра
Брянского государственного технического
университета.
E-mail: dkopeliovich@rambler.ru

Сафонов Александр Леонидович

к.т.н., доцент, заместитель директора
Инжинирингового центра Брянского государственного
технического университета.
E-mail: safonoval@yandex.ru

Кондратенко Роман Викторович

магистрант Брянского государственного технического
университета.
E-mail: roman_kondratenko@bk.ru

Information about authors:

Kopeliovich D.I.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Director of Bryansk State Technical University
Engineering Center
E-mail: dkopeliovich@rambler.ru

Safonov A.L.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Deputy Director of Bryansk State Technical University
Engineering Center
E-mail: safonoval@yandex.ru

Kondratenko R.V.

Master student of Bryansk State Technical University.
E-mail: roman_kondratenko@bk.ru

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

УДК: 65.012.12

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-40-52

А.С. Белейченко, В.И. Аверченков

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ

В исследовании рассмотрены проблемы туристической отрасли экономики, которая описывается с позиции перспективности потенциальной информатизации. Отражены особенности функционирования отрасли туризма, выдвинуты предложения, касательно проектирования и разработки автоматизированной системы управления, обозначена географическая принадлежность направлений исследования. В качестве отдельного составляющего элемента отрасли туризма предложено рассматривать туристско-рекреационный комплекс, который соответственно принят в виде объекта управления для проектируемой автоматизированной системы. Авторами доработана формулировка термина «туристско-рекреационный комплекс» как сложной социально-экономической системы, с учетом проблемы и возможностей информатизации. Достаточное внимание в исследовании уделено выявлению характерных особенностей туристско-рекреационного комплекса, обозначению и дополнению его функций, возможностям и сложностям формализации. Описаны особенности и проблемы процесса проектирования автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом, предложена ее концептуальная структура и обозначены направления дальнейших исследований. Особое внимание уделено необходимости разработки автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом с учетом запросов, потребностей и возможностей трех ее основных групп пользователей: органов управления регионом (округом), хозяйствующих субъектов и гостей (туристов, рекреантов).

Ключевые слова: автоматизированная система управления, туристско-рекреационный комплекс, стратегия развития, информация, пользователи, функции, моделирование, кортеж.

A.S. Beleychenko, V.I. Averchenkov

DESIGN FEATURES OF THE AUTOMATIZED MANAGEMENT SYSTEM DEVELOPMENT FOR A TOURIST AND RECREATIONAL COMPLEX

This research examined the problems of the tourism sector of the economy, that was described from the perspective of potential informatization. The features of the tourism industry functioning were reflected, some proposals were put forward regarding the design and development of an automated management system, and the geographical affiliation of the research areas were indicated. The tourist and recreational complex was proposed to understand as a separate component of the tourism industry, and was accordingly accepted as the object for the projected automated system. The authors had refined the formulation of the term "tourist and recreational complex" as a complex socio-economic system based on the problems and possibilities of its informatization. Sufficient attention was paid to the identification of the characteristic features of the tourist and recreational complex, to the designation and addition of its functions, to the possibilities and difficulties of formalization. Some features and problems of the designing an automated control system were described in this research, there were also suggests about its conceptual structure, and outlines the for further research. Special attention was paid to the developing of the automated system for managing the tourist and recreational complex, based on the requests, needs and capabilities of its three main groups of users: regional (district) management, business and guests (tourists, recreants).

Keywords: automated management system, tourist and recreational complex, development strategy, information, users, functions, modeling, tuple.

Введение

Современный «электронно-цифровой» мир оказывает все большее влияние на все сферы функционирования социума, активно эволюционируя от отдельных десктопных приложений к программным комплексам на базе облачных технологий. Увеличивается число руководителей и специалистов, которые не могут обходиться без соответствующих автоматизированных систем анализа, планирования, контроля, учета и поддержки принятия решений в различных сферах и видах деятельности. Прогнозирование, планирование и управление на уровне регионов и округов также не является исключением, эти виды управленческой деятельности затронуты общей тенденцией развития цифровых технологий, формирующей, так называемую, «цифровую экономику». При этом, любой отдельный вид управленческой деятельности для каждой сферы экономики на уровне государства, региона, округа или, непосредственно, предприятия, – предполагает формирование соответствующего программного комплекса (автоматизированной системы управления), учитывающего особенности функционирования не только выбранной сферы экономической деятельности, но и конкретных ситуаций в регионе, округе, отдельных организациях.

В этих условиях, особое внимание предлагается обратить на активно развивающуюся туристско-рекреационную сферу, перспективность исследования которой подчеркивается такими документами, как: Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года [12], в том числе по отдельным регионам - Стратегия развития туристического кластера Республики Крым на период до 2030 года [13].

Ключевой задачей рассматриваемой Стратегии [12] и условием реализации социальной функции туризма является повышение доступности туризма для населения, обеспечение необходимого разнообразия через формирование туристского продукта с учетом половозрастных, этнических, религиозных и иных особенностей населения. Причем, особая роль в данных документах отводится задачам совершенствования системы управления туризмом в Российской Федерации, в том числе системы сбора, обработки и анализа статистических данных его развития.

При этом, туризм рассматривается в данном исследовании как одна из отраслей экономики, которая одновременно играет социальную и экономическую роли [12]:

- социальная роль туризма реализуется через удовлетворение потребности населения в отдыхе, впечатлениях и личностном развитии;

- экономическая роль туризма проявляется в ускорении экономического роста отдельных регионов Российской Федерации, обеспечении занятости населения, причем туризм является одной из отраслей с наибольшими мультипликативными эффектами для экономики.

Более того, рассматривая туризм, туристско-рекреационную деятельность с позиции информатизации необходимо выделить такие активно развивающиеся направления, которые можно рассматривать с двух позиций:

- с позиции органов управления (региона, города): автоматизация процессов сбора обработки и анализа информации о деятельности предприятий и организаций туристско-рекреационной сферы;

- с позиции пользователей (гостей, туристов, рекреантов): автоматизация процесса получения информации об объектах туризма, имеющихся ресурсах туристического и рекреационного характера с помощью интернет-технологий; информатизация и автоматизация процессов поиска и выбора туристских и рекреационных услуг, вплоть до сведения к минимуму голосового непосредственного взаимодействия между пользователем и поставщиком услуг; информатизация и автоматизация процессов подбора вариантов получения туристской или рекреационной услуги на основании, заранее заданных пользователем, критериев.

Реализацию подобных направлений на практике, в целом можно рассматривать с

позиции разработки общей автоматизированной системы управления туристско-рекреационной деятельностью. Тогда, в рамках развития вышеуказанных направлений, выполнения Стратегии развития туризма как федерального, так регионального уровня, предлагается конкретизировать процесс разработки автоматизированной системы управления (АСУ) на примере использования современных технологий для развития туристско-рекреационной сферы Республики Крым в рамках «микрорегиона» - городской округ Феодосия, который предлагается рассматривать как отдельный составляющий элемент отрасли туризма - «туристско-рекреационный комплекс» (ТРК). При этом, учитывая положения Стратегии развития туристического кластера Республики Крым на период до 2030 года [13], где выделен Юго-Восточный экономический микрорегион (городские округа Судак и Феодосия, Кировский район), можно определиться и с предполагаемыми перспективными направлениями развития туризма в данном туристско-рекреационном комплексе: аэротуризм; велосипедный; военно-патриотический; горно-пешеходный; деловой; морской; научный; пляжный; промысловый; санаторно-курортный; событийный; спортивный; экологический; экскурсионный; элитный спорт.

1. Туристско-рекреационный комплекс как объект автоматизации

Следуя обозначенной выше общей задаче развития туризма (в рамках совершенствования системы управления туризмом), а также стратегий цифровизации экономики и автоматизации различных видов деятельности, актуальной может быть разработка автоматизированной системы управления (АСУ) в туристско-рекреационной сфере, включающей в себя некоторые элементы системы поддержки принятия управленческих решений (СППР) на примере Феодосийского округа Республики Крым (т.е. для конкретного туристско-рекреационного комплекса). К задачам, которые могут быть решены такого рода системой управления, необходимо относить весь комплекс задач, связанных с обеспечением эффективности управленческой деятельности органов управления округом в отношении планирования, управления, регулирования функционирования туристско-рекреационного комплекса в целом. При этом, термин «Автоматизированная система» применительно к туристско-рекреационной сфере предлагается рассматривать в рамках указаний ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения», где «автоматизированная система (АС) — система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций» [1].

Приведем некоторые, специально сформированные требования к подобным системам, сформулированные с позиции основных групп конечных пользователей:

– Группа управления (специалисты отделов управления округа, города): удобство и наглядность получения информации, адаптированность для носимой электроники, простота дизайна.

– Группа источников информации (предприниматели, менеджеры предприятий и организаций, включенных в туристско-рекреационный комплекс): простота и однозначность дизайна, удобство внесения информации (сведений о деятельности экономических субъектов), наличие обратной связи в виде справочной системы и системы подтверждений действий (подтверждение отправки данных, подтверждение получения данных и т.п.).

– Группа посетителей (туристы, рекреанты): однозначность дизайна, простота поиска информации, объективности и актуальность информации.

Для разработки подобной автоматизированной системы управления туристско-рекреационной сферой в рамках туристско-рекреационного комплекса, с учетом вышеуказанных требований, необходимо конкретизировать объект, на который будет направлено воздействие такой системы, т.е. «туристско-рекреационный комплекс».

Анализ научных публикаций показал, что в отношении сущности туристско-рекреационного комплекса, наблюдается отсутствие общих позиций исследователей в подходах к ее определению, составляющим элементам и функциям.

При этом, для целей разработки автоматизированной системы управления, использовались ранее разработанные подходы следующих авторов:

– Якименко М.В., при котором туристско-рекреационный комплекс рассматривается с позиций «выделения в качестве объектов управления материальных, сервисных, финансовых и информационных потоков, возникающих в результате взаимодействия основных подсистем комплекса в регионе при формировании, продвижении и реализации турпродуктов территории [4].

– Пшеничных Ю.А., предлагала рассматривать туристско-рекреационный комплекс и индустрию туризма как социально-экономическую систему, сформированную по типологии территорий в соответствии с различными наборами изучаемых показателей [9].

Беря во внимание тот факт, что чаще всего в научных публикациях [6, 7, 11] предлагается рассматривать туристско-рекреационный комплекс (ТРК), как сложное явление, в основе данного явления может быть выделена такая совокупность взаимосвязей ряда следующих элементов (совокупностей элементов):

– туристско-рекреационные ресурсы и объекты, включая особенности природно-климатических, культурно-исторических, санаторно-курортных, оздоровительных и иных рекреационных характеристик региона (местности);

– объекты туристско-рекреационной индустрии (поставщики услуг или продукта), включающие предприятия и организации, обеспечивающие размещение гостей, питание, развлечение, транспорт, доступ к культурно-историческим ресурсам и т.д.;

– объекты туристско-рекреационной и общей инфраструктуры, включающие предприятия обслуживающие инженерные сети и системы коммуникаций, оказывающие услуги охраны, бытовые услуги, транспортные услуги, услуги торговли и т.п.;

– объекты инфраструктуры информирования и реализации туристского продукта, т.е. турагентства, турфирмы, туроператоры, информационные и рекламные агентства, средства массовой информации, социальные сети.

Тогда, с целью включения всех вышеуказанных структурных элементов, может быть предложен вариант структуры ТРК в виде схемы (рис. 1), отражающей основные взаимосвязи между ними.

Для отражения сложности системы взаимосвязей между элементами ТРК, его предлагается представить в виде кортежа K_{trk} :

$$K_{trk} = \langle TR, OR, OI, IR \rangle,$$

где каждый из элементов TR, OR, OI, IR, - это некое множество управляемых и неуправляемых факторов соответствующих следующим элементам туристско-рекреационного комплекса:

TR – туристско-рекреационные ресурсы и объекты;

OR – объекты туристско-рекреационной индустрии;

OI – объекты туристско-рекреационной и общей инфраструктуры;

IR – объекты инфраструктуры информирования и реализации туристского продукта.

Дополним существующие подходы к определению туристско-рекреационного комплекса: туристско-рекреационный комплекс – исторически или искусственно сформированная система, представляющая собой совокупность объектов туристско-рекреационной индустрии и инфраструктуры, совместно использующих туристско-рекреационные объекты и ресурсы для удовлетворения потребностей экономических субъектов в туристско-рекреационных услугах.

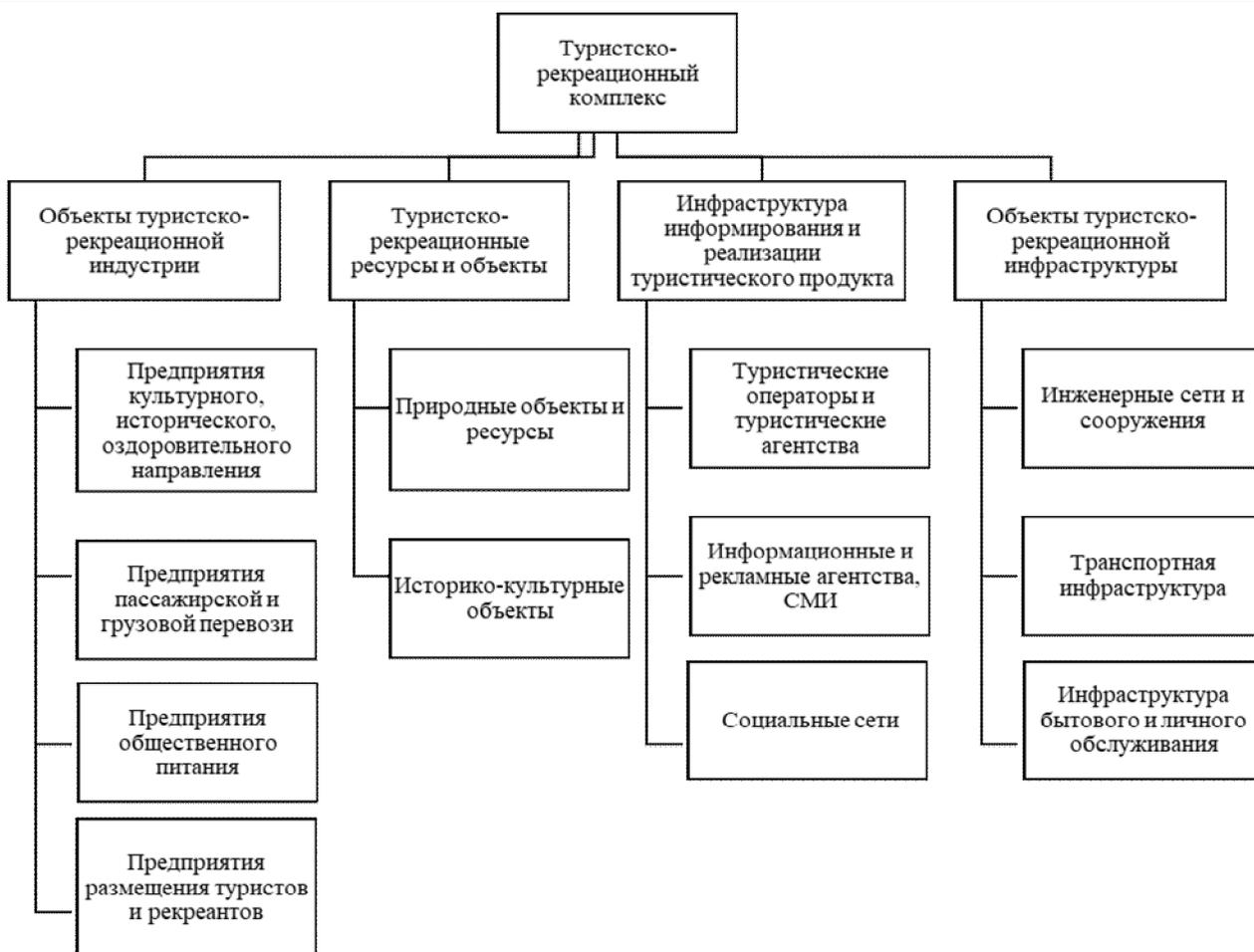


Рис. 1. Вариант представления структуры туристско-рекреационного комплекса (ТРК)

2. Особенности разработки автоматизированной системы управления для туристско-рекреационного комплекса

В соответствии с рекомендациями, содержащимися в ГОСТ 34.601-90 [2], ГОСТ 24.104-85 [3] была поставлена задача разработать типовую автоматизированную систему управления (АСУ) в виде следующих стадий:

1. Формирование требований к АС.
2. Разработка концепции АС.
3. Техническое задание.
4. Эскизный проект.
5. Технический проект.
6. Рабочая документация.
7. Ввод в действие.
8. Сопровождение АС.

Исследование на первой стадии включает в себя процедуры изучения сущности, структуры и функций объекта управления – туристско-рекреационного комплекса.

Особую роль на данной стадии разработки играют процедуры получения и изучения входной информации, касательно туристско-рекреационного комплекса конкретного округа. В качестве источников информации предлагается рассматривать ранее указанные основные группы пользователей будущей автоматизированной системы:

– Группа управления (специалисты отделов управления округа, города): информация в отношении характеристик округа, имеющихся ресурсах, экономических субъектах,

особенностей округа, выполняемых функций группой управления и ее сферы ответственности, потребность во входных данных из служб статистики и прочих служб округа, информация о ключевых показателях, используемых группой управления для оценивания эффективности работы туристско-рекреационного комплекса округа и т.п.

– Группа источников информации (предприниматели, менеджеры предприятий и организаций, включенных в туристско-рекреационный комплекс): информация о типе и характере взаимодействия с органами управления округа, потребность в обратной связи с группой управления округом, информация о структуре и содержании ключевых показателей деятельности, требующихся для работы автоматизированной системы.

– Группа посетителей (туристы, рекреанты): сведения о потребностях и необходимом содержимом информационной системы в отношении туристско-рекреационного комплекса.

Процедуры анализа указанной информации предполагают выполнение действий, связанные с:

- отбором релевантных сведений;
- формированием групп запросов и требований пользователей разрабатываемой автоматизированной системы;
- формулирование обоснования о необходимости разработки автоматизированной системы;
- определение потенциальных сложностей внедрения данной системы.

При этом, рассматриваемая стадия разработки проекта АСУ, может быть представлена в адаптированном виде, соответствующем указаниям ГОСТ 34.601-90 [2], ввиду необходимости уточнения характеристик объекта управления, его функций и требований к построению проекта (рис. 2).

Характеризуя рис. 2, следует отметить, что процедура обоснования необходимости разработки АСУ с учетом анализа данных в отношении элементов туристско-рекреационного комплекса предполагает в результате формирование системы взаимосвязанных показателей, включающих показатели, характеризующие туристско-рекреационные ресурсы, объекты инфраструктуры информирования и реализации, объекты туристско-рекреационной индустрии и инфраструктуры.

Следующая процедура, предполагающая определение основной функции ТРК, предполагает определение принципов выбора, анализа и моделирования некоторой основной функции через построение системы оценивания для объективной характеристики состояния объекта управления, используя факторные методы анализа, методы анализа временных рядов, экспертные методы оценивания, а также элементы методов анализа экономических рисков.

Рассматривая разработку автоматизированной системы на начальной стадии в соответствии с адаптированной схемой (рис.2), были проведены исследования в отношении существующих подходов к анализу и управлению туристско-рекреационным комплексом. В частности, в работе Якименко М.В. предлагается создание своего рода информационной системы для управления туристско-рекреационным комплексом, представляющую собой совокупность организационных комплексов и информационных технологий, обеспечивающих движение организованных информационных потоков для осуществления поиска, обработки, хранения и передачи информации о потоковых процессах, имеющих место в рамках процесса управления комплексом, а также между этой системой, внешней и внутренней средой [4]. Интересным является вариант рассматривания туристско-рекреационного комплекса с позиций «оценки влияния рисков и их учета в процессе управления предприятиями туристского комплекса, представляющая собой инструментальный организационно-функционального обеспечения процесса принятия управленческих решений, базирующийся на экономико-статистических методах корреляционно-регрессионного анализа, методах анализа временных рядов, аддитивных и мультипликативных схемах анализа, адаптированных методах количественного анализа экономических рисков путем

применения показателей, характеризующих деятельность конкретных предприятий социально-экономической сферы» [5, 10]. Пшеничных Ю.А., в своей работе предлагает построение некоего профиля социально-экономического состояния туристско-рекреационного комплекса и формирование типологии территорий по различным наборам изучаемых показателей [9].

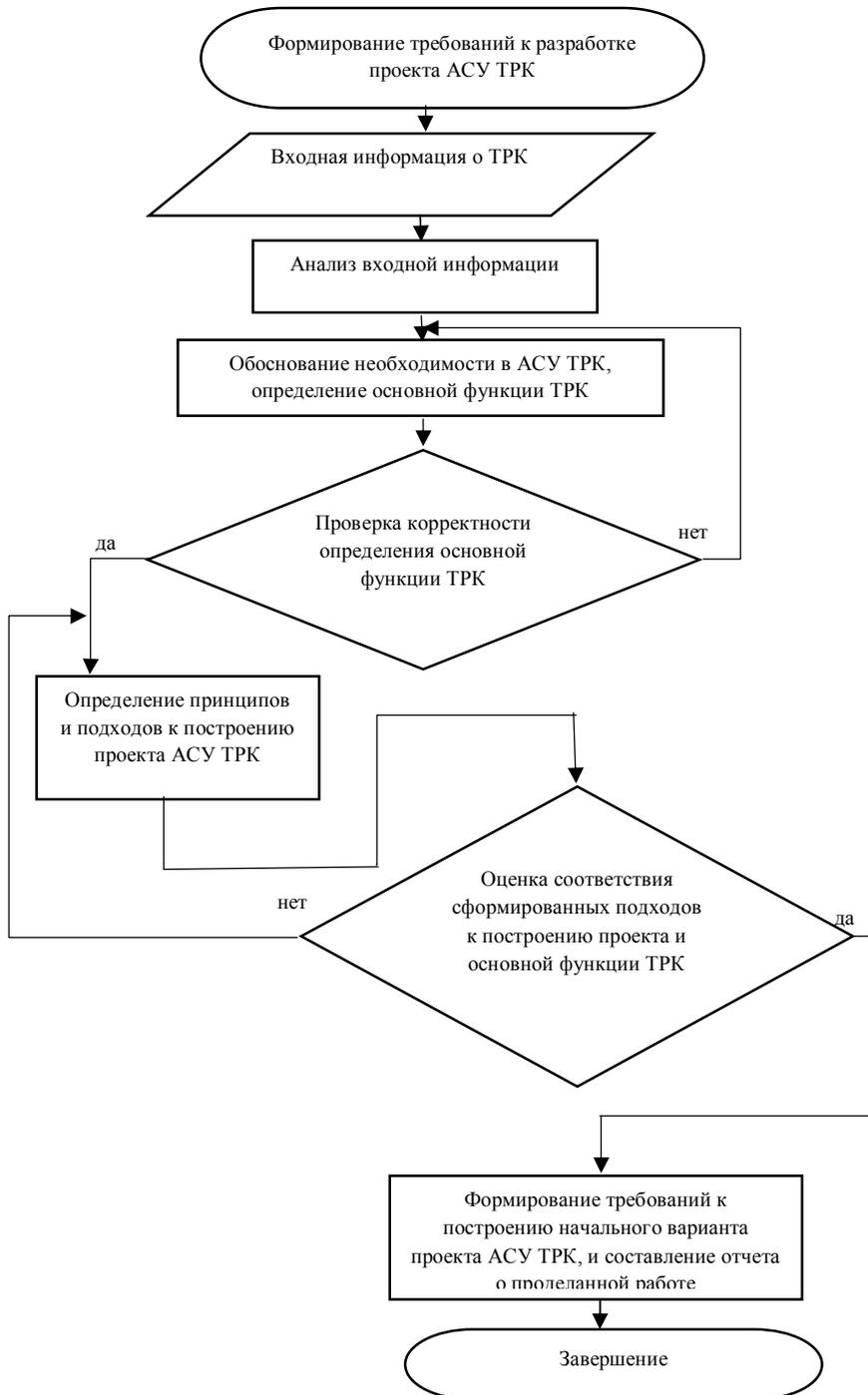


Рис. 2. Схема начальной стадии разработки проекта АСУ ТРК

Помимо этого, можно выделить предложения использовать для анализа и управления туристско-рекреационным комплексом: когнитивных карт и сценарные исследования на когнитивных картах [7], статистические методы сценарное моделирование [8], ранжирование по показателям доходности [11] и прочие.

На основании анализа научных публикаций, можно сделать вывод, что для оценки туристско-рекреационного комплекса как сложной системы, в экономической науке и науке управления, чаще всего встречаются и используются различные вариации экспертного оценивания в том или ином виде, что усложняет процедуры моделирования системы автоматизации управления. Проведенный анализ научных публикаций в отношении изученности и разработанности проблем автоматизации и моделирования, позволил сделать вывод о недостаточном внимании исследователей к управлению такой сложной системой как туристско-рекреационный комплекс.

3. Характер и структура функций туристско-рекреационного комплекса как объекта автоматизации

Перейдем к рассмотрению функций туристско-рекреационного комплекса. Основываясь на предложениях ученых-исследователей, высказанных в ряде научных публикаций [4, 6, 7, 10, 11], среди функций ТРК могут быть выделены некоторые, являющиеся общими (характерные для всех видов ТРК): экономическая, рекреационная, социально-культурная. В свою очередь, дополнительные функции и подфункции, можно уже считать различными и зависящими от каждого конкретного ТРК и его особенностей.

Достаточно важное значение имеет потребность определить одну из функций в качестве основной (иначе – системообразующей), которая являлась бы основой формирования и функционирования всего туристско-рекреационного комплекса. Такой функцией для туристско-рекреационного комплекса предлагается выбрать экономическую. Указанный выбор обоснован прежде всего достаточно высоким уровнем потребности рассматриваемой сферы деятельности (туризм и рекреация) в дотациях со стороны регионального и федерального бюджетов, а также положениями действующей общегосударственной, региональной Стратегий развития туризма и социально-экономической стратегии округа.

Тогда, с учетом предполагаемого подхода, функции ТРК можно представить с точки зрения пользователя автоматизированной системы управления, при этом одновременно с выделенной основной функцией, автором предлагается обозначить еще одну, общую для всех и воздействующую на все функции – «информационную», следующим образом (рис. 3).



Рис.3. Представление взаимосвязи и взаимовлияния функций туристско-рекреационного комплекса (ТРК)

Отметим, что при определении составляющих элементов основной функции, важной задачей является анализ особенностей туристско-рекреационного комплекса, среди которых можно выделить следующие:

- рекреационный продукт или услуга является уникальным для каждого конкретного региона и округа;
- сезонность туристско-рекреационного продукта (услуги), предполагающая невозможность оказания тех или иных услуг в определенные времена года;
- высокий уровень зависимости от интересов конечных потребителей (туристов и рекреантов);
- высокий уровень необходимости постоянного информационного контакта с потенциальным потребителем и предприятиями сферы услуг для обеспечения необходимого уровня информированности и формирования благоприятного общественного мнения о предлагаемых туристско-рекреационных продуктах (услугах).

Раскроем более детально характер функций туристско-рекреационного комплекса, представив их в виде расширенной схемы, построенной на основании анализа научных публикаций [4, 6, 8, 5], с выделением дополнительной функции – «информационной», которую ввиду достаточно сложного характера взаимодействия и взаимовлияния на все прочие функции, предлагается представить на схеме (рис.4) в виде двунаправленных стрелок.

Поясним логику построения данной схемы:

- в качестве основного блока выделена экономическая функция, ранее выбранная в качестве главной (основной) функции туристско-рекреационного комплекса;
- воздействие предложенной выше информационной функции, реализовано в виде двунаправленных стрелок, иллюстрирующих процесс обмена информацией между функциями комплекса;
- функции предполагают некоторую определенную сферу воздействия на элементы туристско-рекреационного комплекса.

При этом, каждая из обозначенных на схеме функций, раскрывается с позиций, задействованных в контексте данных функций объектов и видов деятельности, например: социально-культурная функция предполагает деятельность экономических субъектов в рамках как обеспечения наличия и доступности социально-культурных объектов и мероприятий, так и туристско-рекреационно ориентированных образовательных услуг. Т.е., в рамках выполнения туристско-рекреационным комплексом социально-экономической функции предполагается создание неких предприятий и организаций, которые имели бы возможность оказывать соответствующие услуги, повышающие культурный уровень населения и гостей (рекреантов) с помощью соответствующих доступных для них объектов (музеи, театры, дома творчества и т.п.) и мероприятий (выставки, концерты ярмарки ремесел и т.п.).

На основании предложенной схемы функций и их взаимосвязи (рис.4), дополним ранее предложенный кортеж K_{trk} в виде совокупности множеств:

$$K = \langle M, TR, OR, OI, IR, U, S, E, G \rangle,$$

где M – множество управляемых факторов, имеющих экономическую природу;

$TR \subseteq M$ – множество факторов, характеризующих туристско-рекреационные ресурсы и объекты;

$OR \subseteq M$ – множество факторов, характеризующих объекты туристско-рекреационной индустрии;

$OI \subseteq M$ – множество факторов, характеризующих объекты туристско-рекреационной и общей инфраструктуры;

$IR \subseteq M$ – множество факторов, характеризующих объекты инфраструктуры информирования и реализации туристского продукта;

U – множество неуправляемых факторов, воздействующих на туристско-рекреационный комплекс;

S – множество возможных состояний изучаемого туристско-рекреационного комплекса;

E – критерий эффективности управления системой, характеризующий желаемое состояние изучаемого туристско-рекреационного комплекса;

G – цель управления туристско-рекреационным комплексом.

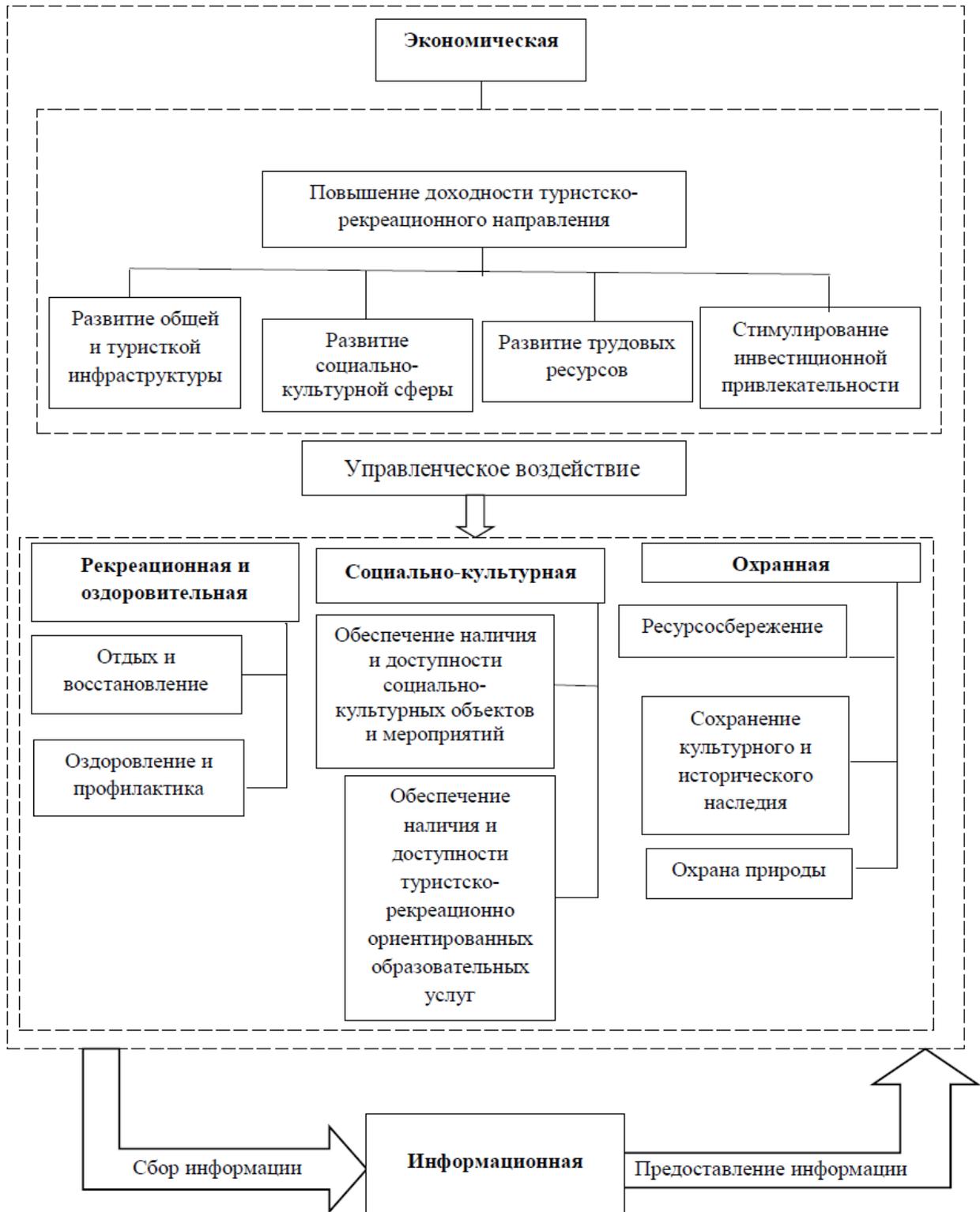


Рис.4. Функции туристско-рекреационного комплекса (ТРК)

4. Общая структура автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом

С учетом предложенного варианта зависимости функций туристско-рекреационного комплекса и формализованного его представления, сформируем общую структуру автоматизированной системы управления комплексом, представив ее в виде комплексов задач, рассматриваемых с точки зрения разработчика автоматизированной системы – рис. 5.



Рис.5. Структура автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом с позиции разработчика

На основании предложенной структуры АСУ (рис. 5), процесс разработки в данном варианте реализации предполагает выполнение ряда этапов, среди которых наиболее важными можно считать:

- построение общей схемы функционирования автоматизированной системы управления (включая UML-диаграммы состояния, деятельности, вариантов использования);
- разработка алгоритмов для всех комплексов задач автоматизированной системы;
- построение баз данных и организация работы с ними (заполнение, чтение).

Помимо этого, анализ рис.5, позволяет выделить дополнительную группу задач построения автоматизированной системы управления, требующих постепенного решения, в частности:

- Разработка принципов формирования туристско-рекреационных комплексов.
- Построение модели и разработка технологии формирования универсальных туристско-рекреационных комплексов.

Заключение

В законченном виде, рассматриваемая автоматизированная система предполагает

участие и воздействие на процессы управления туристско-рекреационного комплекса, выполняя информационную функцию, путем:

– своевременного информирования всех групп пользователей системы, предполагающее процедуры сбора, анализа и предоставления данных как в отношении имеющихся ресурсов и объектов, так и в отношении фактического состояния региона (комплекса);

– поддержки развития туристической инфраструктуры, социально-культурной сферы, предполагающее процедуры предоставления информации о фактическом состоянии данной сферы необходимым группам пользователей и организации обратной связи между пользователями системы.

Данный проект автоматизированной системы управления туристско-рекреационным комплексом (АСУ ТРК) в настоящий момент находится в стадии реализации в виде веб приложения с использованием базы данных.

Список литературы:

References:

1. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006979> (дата обращения: 30.10.2020).
2. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006921> (дата обращения: 30.10.2020).
3. ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008639> (дата обращения: 30.10.2020).
4. Якименко, М.В. Определение приоритетных направлений развития регионального туристско-рекреационного комплекса / М.В. Якименко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №8. – С. 171-175.
5. Конышев, Е.В. Концептуальные модели региональной туристско-рекреационной системы (функциональный и пространственный уровни) / Е.В. Конышев // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 12 (127). – С. 99-109.
6. Полякова, И.Л. Туристско-рекреационный комплекс: сущность, функции и структура / И.Л. Полякова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №13 (132). – С. 376-382.
7. Кокорев, Н.И. Стратегический подход к управлению туристско-рекреационным комплексом муниципального образования / Н.И. Кокорев // Экономический вестник Ростовского государственного университета. – 2008. – Т. 6. – №3. – С. 131-133.
8. Якименко, М.В. Разработка интегрального показателя оценки туристского потенциала с позиции применения кластерного подхода к развитию туризма
1. GOST 34.003-90 Informacionnaja tehnologija (IT). Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredelenija // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006979> (data obrashhenija: 30.10.2020).
2. GOST 34.601-90 Informacionnaja tehnologija (IT). Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdanija // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006921> (data obrashhenija: 30.10.2020).
3. GOST 24.104-85 Edinaja sistema standartov avtomatizirovannyh system upravlenija. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija. Obshhie trebovanija // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008639> (data obrashhenija: 30.10.2020).
4. Jakimenko, M.V. Opredelenie prioritetnyh napravlenij razvitija regional'nogo turistsko-rekreacionnogo kompleksa / M.V. Jakimenko // Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki. – 2012. – № 8. – S. 171-175.
5. Konyshev, E.V. Konceptual'nye modeli regional'noj turistsko-rekreacionnoj sistemy (funkcional'nyj i prostranstvennyj urovni) / E.V. Konyshev // Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 12 (127). – S. 99-109.
6. Poljakova, I.L. Turistsko-rekreacionnyj kompleks: sushhnost', funkcii i struktura / I.L. Poljakova // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvenno gouniversiteta. – 2011. – №13 (132). – S. 376-382.
7. Kokorev, N.I. Strategicheskij podhod k upravleniju turistsko-rekreacionnym kompleksom municipal'nogo obrazovanija / N.I. Kokorev // Jekonomicheskij vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – T. 6. – № 3. – S. 131-133.
8. Jakimenko, M.V. Razrabotka integral'nogo pokazatelja ocenki turistskogo potenciala s pozicii primenenija klasternogo podhoda k razvitijuturizma / M.V. Jakimenko, E.V. Zhertovskaja // Inzhenernyj vestnik

- / М.В.Якименко, Е.В. Жертовская // Инженерный вестник Дона.– 2018.– №4(51). – URL:<http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274>(дата обращения: 30.10.2020).
9. Пшеничных, Ю.А. Модели туристской политики юга России: конвергенция и дивергенция / Ю.А. Пшеничных // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2019. – №3. – С. 553-559.
10. Рябцев, А.А. Научно-методические аспекты стратегического планирования развития сферы туристско-рекреационных услуг / А.А. Рябцев // TerraEconomicus. – 2010. – Т. 8. – № 2. – С. 65-73.
11. Фатнева, Е.А. Методологические подходы к оценке туристско-рекреационного потенциала / Е.А. Фатнева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 5. – С. 250-253.
12. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года // Правительство России: [сайт]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/FjJ74rYOaVA4yzPAshEulYxmWSpB4lrM.pdf> (дата обращения: 30.10.2020).
13. Стратегия развития туристического кластера Республики Крым на период до 2030 года // Техэксперт: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/561442294> (дата обращения: 30.10.2020).
- Dona. – 2018. – № 4(51). – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5274> (дата обращения: 30.10.2020).
9. Pshenichnyh, Ju.A. Modeli turistskoj politiki juga Rossii: konvergencija i divergencija / Ju.A. Pshenichnyh // Sistemnyj analiz v proektirovanii i upravlenii. – 2019. – № 3. – S. 553-559.
10. Rjabcev, A.A. Nauchno-metodicheskie aspekty strategicheskogo planirovanija razvitija sfery turistsko-rekreacionnyh uslug / A.A. Rjabcev // Terra Economicus. – 2010. – T. 8. – № 2. – S. 65-73.
11. Fatneva, E.A. Metodologicheskie podhody k ocenke turistsko-rekreacionnogo potenciala / E.A. Fatneva // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitetaim. V.G. Shuhova. – 2014. – № 5. – S. 250-253.
12. Strategija razvitija turizma v Rossijskoj federacii na period do 2035 goda // Pravitel'stvo Rossii: [sajt]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/FjJ74rYOaVA4yzPAshEulYxmWSpB4lrM.pdf> (дата обращения: 30.10.2020).
13. Strategija razvitija turisticheskogo klastera Respubliki Krymna period do 2030 goda // Tehjeksper: [sajt]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/561442294> (дата обращения: 30.10.2020).

Статья поступила в редколлегию 13.10.2020.

Рецензент: канд. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 29.10.2020.

Сведения об авторах

Белейченко Алексей Сергеевич

аспирант Брянского государственного технического университета

E-mail: alexis.sat@bk.ru

Аверченков Владимир Иванович

д.т.н., проф. Брянского государственного технического университета

E-mail: aver.tu@yandex.ru

Information about authors:

Beleychenko A.S.

post graduate student
of Bryansk State Technical University

E-mail: alexis.sat@bk.ru

Averchenkov V.I.

D. Eng., Prof. of Bryansk State Technical University

E-mail: aver.tu@yandex.ru

УДК: 519.65

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-53-59

Д.В. Титарёв, А.Г. Сериков, С.О. Кривцанов

АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ И ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ДЛЯ СЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе изложен обзор архитектур для программного комплекса управления ремонтами и техническим обслуживанием для сервисного предприятия. В рамках исследовательской работы были изучены методологии управления активами (EAM) и сервисами (ITSM). Предложены три различные архитектуры для проектируемого программного комплекса, приведены их описания, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: EAM, ITSM, ITIL, Service desk, управление ремонтами, управление сервисами.

D.V. Titaryov, A.G. Serikov, S.O. Krivtsanov

ARCHITECTURE OF THE REPAIR AND MAINTENANCE MANAGEMENT SOFTWARE FOR A SERVICE ENTERPRISE

The paper provides an overview of the architectures for the repair and maintenance management software package for a service enterprise. As part of the research work, asset management (EAM) and service management (ITSM) methodologies were studied. Three different architectures for the designed software package are proposed, their descriptions, advantages and disadvantages are given.

Keywords: EAM, ITSM, ITIL, Service desk, repair management, service management.

Введение

Потребности современного мира растут, что приводит к необходимости использовать специализированное оборудование для автоматизации и оптимизации технологических процессов. Для обеспечения работоспособности любого оборудования, его необходимо обслуживать. Если этим пренебрегать или обслуживать ненадлежащим образом, то это может привести к серьёзным техническим неисправностям, простоям оборудования, а также к простоям технологических процессов, если оборудование является частью конвейерного производства.

Но для эффективного функционирования предприятия в рабочем состоянии должно находиться не только специализированное оборудование, производящее материальные ценности. В этот список также входят помещения, здания, вся инфраструктура предприятия. Таким образом, техническое обслуживание требуется для всех материальных активов компании.

Для решения этой проблемы появилась методология EAM, а впоследствии и EAM-системы [1, 2]. Данные программные комплексы нацелены на производственные предприятия, где компания сама использует оборудование и производит какие-то ценности.

Однако при возникновении потребности в оборудовании у предприятия есть выбор: приобрести его и поставить на собственный баланс или арендовать. Принимая решение, компания руководствуется принципами экономической целесообразности, и в случае больших затрат на приобретение аренда оказывается более предпочтительной.

Существуют компании, не производящие материальные ценности, а предоставляющие свои услуги клиентам. Услуги могут быть материальными и не материальными, оказываться в разных сферах. Отдельным видом являются услуги по предоставлению оборудования в аренду и оказанию технического обслуживания.

Потребность в аренде оборудования привела к появлению на рынке компаний, специализирующихся на услугах краткосрочной (для разового использования) и долгосрочной аренде материальных активов, а также на их техническом обслуживании.

В зависимости от предоставляемых услуг эти компании делятся на две категории. Рассмотрим их.

В первую категорию входят компании, которые отдают свои активы в аренду клиентам. То есть компания является владельцем этих активов, но не использует их непосредственно. Таким образом, компания ответственна за техническое обслуживание оборудования, и при аварийной ситуации должна своевременно отреагировать и предоставить клиенту новое оборудование или произвести ремонтные работы со старым, приведя его в рабочее состояние.

Наглядным примером таких компаний являются торговые центры, которые сдают в аренду свои помещения. В данном случае торговые точки используют арендаторы, однако за техническое обслуживание всей инфраструктуры, используемой в них, ответственны владельцы торгового центра.

Ко второй категории относятся компании, которые не владеют оборудованием, которое эксплуатируется клиентом, но тоже ответственна за поддержание его в технически исправном состоянии.

Наглядным примером организаций, оказывающих услуги технического обслуживания, являются управляющие компании многоквартирных домов, то есть сфера ЖКХ. В данном случае компания ответственна за техническое обслуживание и ремонт здания и его оборудования, а также инфраструктуры как самого здания (лестницы, лифты, лестничные площадки, балконы и т.д.), так и квартир (система водоснабжения, электричество и т.д.).

В любом случае такие компании должны иметь возможность получать актуальную информацию о текущем состоянии оборудования для осуществления планового технического обслуживания или оперативного внепланового ремонта. Эту информацию необходимо получать от клиентов, так как именно они эксплуатируют оборудование.

Таким образом, ЕАМ-системы подходят и для компаний, оказывающих услуги. Проблема применения этих систем в данных случаях заключается в необходимости получать информацию о техническом состоянии оборудования от клиента, так как сама компания не использует его непосредственно.

В методологии ЕАМ рекомендаций для решения этой задачи нет. В ней описан учет дефектов, которые выявляются во время осмотра или эксплуатации. Но методики, раскрывающей, как получать эту информацию от клиентов, нет.

Для сервисных предприятий встает вопрос приобретения специализированных систем, которые бы автоматизировали и цифровизировали их бизнес-процессы. Однако на рынке нет систем, которые полностью решали бы поставленную задачу, в связи с чем появляется необходимость в разработке программного комплекса управления ремонтами и техническим обслуживанием для сервисных предприятий.

Перед проектированием нужно исследовать методологии, которые необходимы для решения поставленной задачи, описать и проанализировать возможные подходы к построению архитектуры универсального программного комплекса для любых сервисных предприятий, а также обосновать выбор конкретной архитектуры.

Методологии по управлению активами и сервисами

Методология ЕАМ. Первоначально появились CMMS-системы [3, 4]. Они позволяют управлять активами предприятия без учета эффективности. Требования бизнеса к системам управления ТОИР начали возрастать, и функций CMMS-систем стало не хватать, в результате чего стал расширяться функционал (поддержание актуальной информации о

полном жизненном цикле активов, управление персоналом, управление финансами, выбор и оптимизация стратегий обслуживания и ремонтов, анализ причин аварий и поломок).

В результате этого CMMS системы постепенно переросли в EAM (Enterprise Asset Management) – системы, предназначенные для комплексного управления основными фондами предприятия и поддержания их в готовности за счет оптимизации и прозрачности основных бизнес-процессов ТОИР, таких как учет оборудования и нормативов, учет показателей эксплуатации, планирование ТОИР, управление МТО ремонтов, управление работами и др.

Системы класса EAM сохранили функционал CMMS-систем, а также получили расширенные возможности в некоторых областях. Между CMMS и EAM-системами нет четкого разграничения, более того CMMS-системы могут расширять свой функционал в сторону EAM. Программное обеспечение, реализующие методологию EAM, направлено на работу с большим количеством пользователей, центральной базой предприятия, а также предоставляет возможность использовать обмен данными с АСУП и АСУ ТП. Главные отличительные особенности между двумя видами системами управления ТОИР заключаются в том, что EAM-системы управляют всем жизненным циклом оборудования на предприятии, начиная с проектирования, эксплуатацию, обслуживание и последующее списание. Таким образом эти системы направлены на автоматизацию управления активами крупного предприятия.

Несмотря на явные преимущества EAM-систем, CMMS-системы имеют свои особенности, которые в некоторых случаях делают их более предпочтительными. Они имеют меньшую стоимость и функционал, что позволяет быстрее разобраться с системой, процессы внедрения и эксплуатации проще и дешевле. Поэтому такие системы подходят небольшим предприятиям, для которых большие и многофункциональные EAM или ERP-системы не нужны.

Методология ITSM. Изначально работа по управлению IT-инфраструктурой была основана на ресурсном подходе. Он заключался в том, что исполнитель (подрядчик или IT-отдел внутри самой компании) нанимал людей, которые создавали и обслуживали IT-инфраструктуру. Но при таком подходе нет измеримых характеристик, позволяющих определить размер трудовых и финансовых затрат на решение задачи. То есть работа исполнителя непрозрачна. Например, если что-то случилось с сервером, то нельзя сказать сколько понадобится времени, чтобы вернуть его в рабочее состояние: просто запустить какую-то службу или же проблема более серьезная и придется менять сам сервер.

В последнее время всё популярнее становится процессный подход к управлению IT-инфраструктурой. Его идея – формализовать услуги, которые предоставляет исполнитель, то есть использовать принцип платы за услуги. Данный подход раскрыт в ITSM [6, 7, 8] – это область знаний об управлении деятельностью по оказанию IT-услуг. Используя данный принцип, стоимость работ определяется объёмом услуг, оказанных клиенту. Таким образом исполнитель предоставляет клиентам свои сервисы, имеющие определенные услуги с измеримыми характеристиками. То есть ITSM позволяет “навести мосты” между бизнесом и исполнителем, оказывающим IT-услуги. Бизнес чётко даёт понять, что ему нужно, он знает какая задача, за какой промежуток времени и за какую сумму будет решена, а также может определить качество оказанной услуги.

ITSM базируется на библиотеке лучших практик ITIL [5, 9]. На основании реального опыта бизнеса ITIL описывает основные бизнес-процессы, позволяющие оказывать качественные услуги, удовлетворяющие требованиям клиента. То есть ITSM и ITIL не одно и то же: ITSM – подход к управлению IT, а ITIL – практические рекомендации.

Однако в последнее время сфера применения ITSM вышла за рамки управления деятельностью по оказанию ИТ-услуг [10]. Стало понятно, что при грамотном применении ITIL является универсальным инструментом для организации оказания услуг сервисных предприятий практически в любой отрасли.

Обзор возможных архитектур программного комплекса

Для эффективного управления ремонтами и техническим обслуживанием оборудования сервисному предприятию нужен программный комплекс, удовлетворяющий следующим требованиям:

- автоматизация бизнес-процессов ТОИР;
- автоматизация регистрации обращений пользователей;
- минимизация расходов на разработку, внедрение и обслуживание программного комплекса.

Таким образом, автоматизированный программный комплекс должен включать в себя как блок ТОИР, так и службу технической поддержки. Данные блоки могут быть представлены как отдельной системой, так и встроенной подсистемой/модулем. Исходя из этого может быть предложено три варианта архитектуры для разработки проектируемого программного комплекса, отличающиеся концептуально друг от друга сущностью блоков.

Независимые EAM и ITSM системы. В данном случае программный комплекс состоит из двух независимых систем (рис. 1), обменивающихся информацией.

ITSM система используется для управления обращениями клиентов. Клиент регистрирует обращение любым удобным доступным ему способом, после чего эта информация отправляется в ТОИР систему.

EAM система автоматизирует бизнес-процессы по управлению ремонтами и техническим обслуживанием оборудования. Информация о плановых мероприятиях хранится в самой системе, извне поступает только информация от клиентов о неисправностях оборудования для оперативного выполнения ремонта.

Помимо этого, для корректного функционирования программного комплекса необходима настроенная интеграция между двумя системами для передачи информации: после регистрации обращения информация переносится в EAM систему, после выполнения ремонта в ITSM систему отправляется факт окончания работ для дальнейшего информирования клиента.

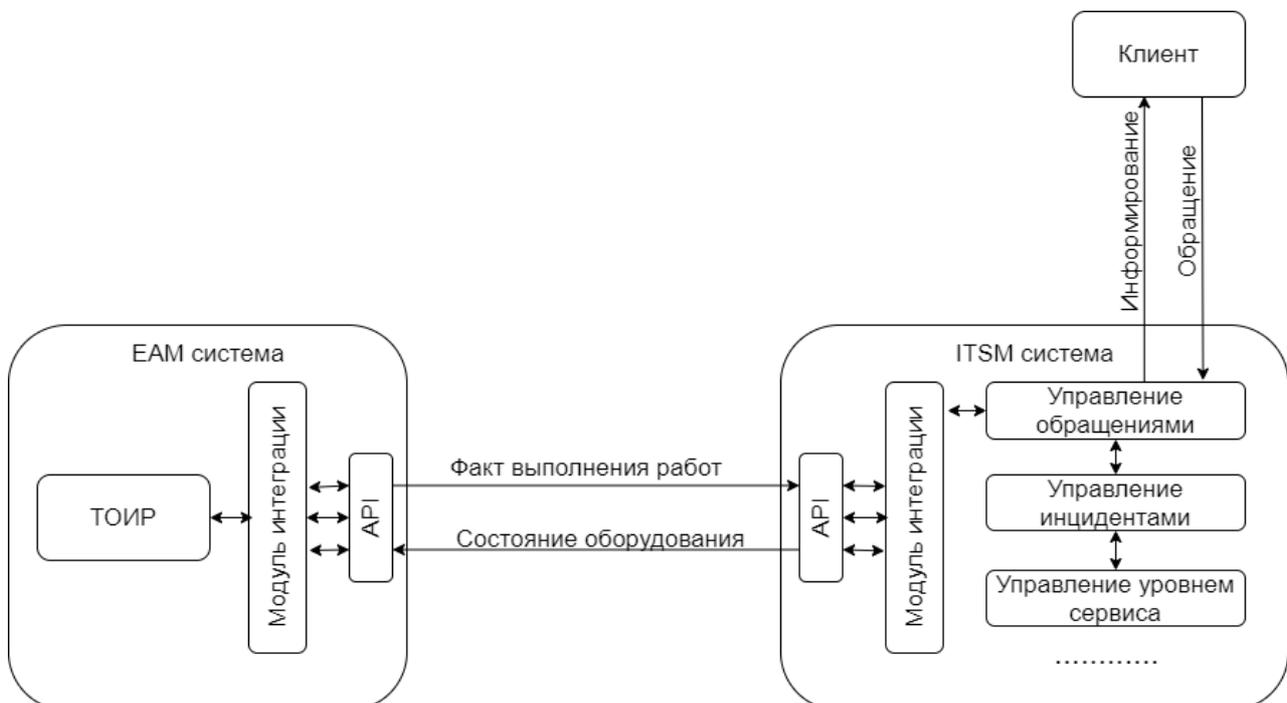


Рис. 1. Архитектура программного комплекса с двумя независимыми системами

Таким образом, проектируемый программный комплекс использует две готовые системы, поэтому нет необходимости их дорабатывать. Однако приобретение сразу двух систем, а также реализация интеграции между системами потребует больших расходов. А стоимость дальнейшего обслуживания программного комплекса делает такую архитектуру экономически нецелесообразной. Также для решения поставленной задачи не требуется весь функционал ITSM системы: необходима возможность регистрации обращений клиентов и связывание ее с бизнес-процессами ТОИР, а нагруженный интерфейс с лишними возможностями снизит пользовательскую удовлетворенность.

ITSM система с модулем ТОИР. В данном случае программный комплекс состоит из одной ITSM системы, для которой разработан модуль ТОИР (рис. 2). Работа с программным комплексом аналогична предыдущему варианту, за исключением того, что информация о регистрации обращения и выполнении работ сразу становится доступной в соответствующей подсистеме и не требует передачи в другую систему.

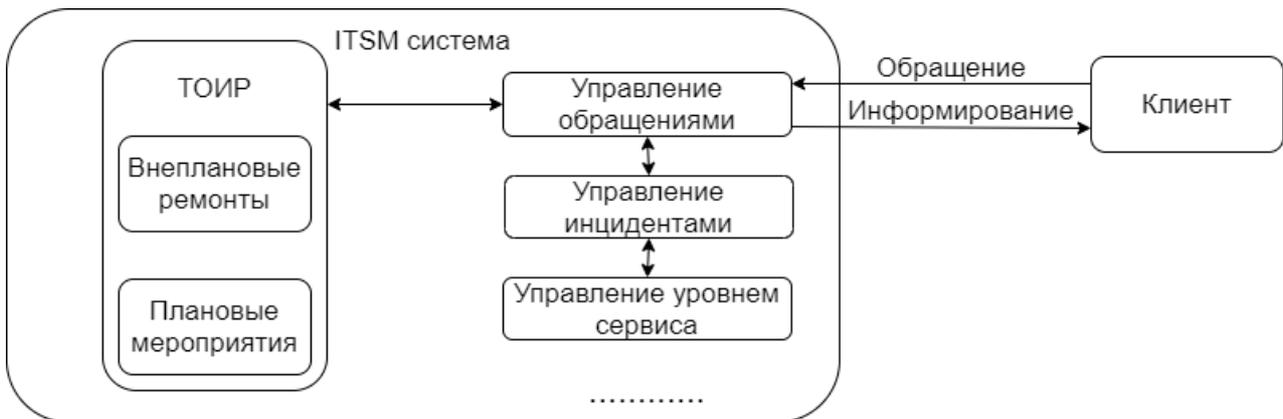


Рис. 2. Архитектура программного комплекса, представленная ITSM системой с модулем ТОИР

Такая архитектура программного комплекса экономически нецелесообразна по следующим причинам:

- приобретение целой системы, большая часть функционала которой не нужна;
- необходим развитый функционал ТОИР, что потребует долгой и дорогостоящей разработкой нового модуля.

ЕАМ система с модулем Service Desk. В отличие от предыдущего варианта в данной архитектуре основной системой является ЕАМ система, имеющая отдельный модуль Service Desk [11] для управления обращениями клиентов (рис. 3).

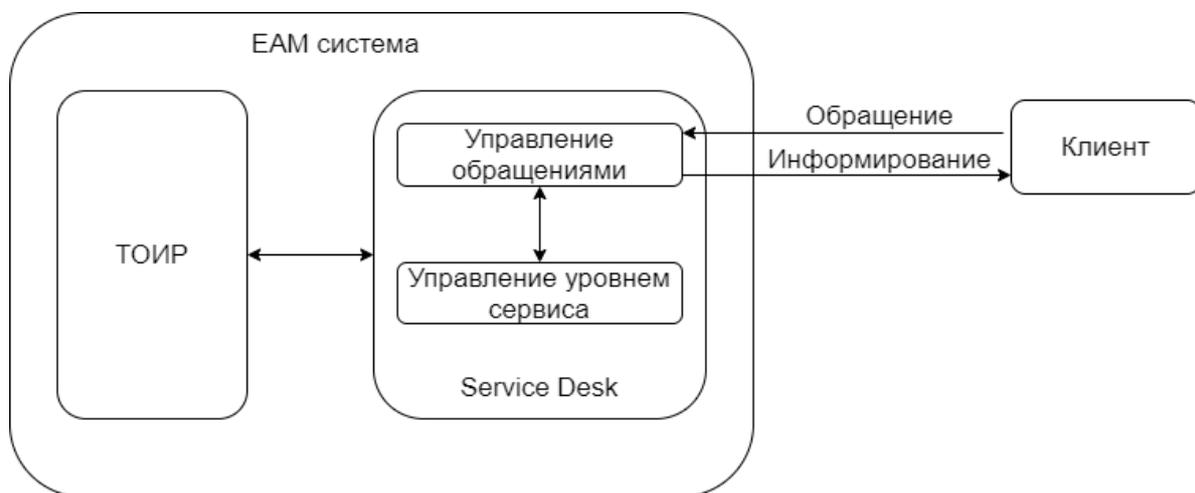


Рис. 3. Архитектура программного комплекса, представленная ЕАМ системой с модулем Service Desk

Кроме упрощенного, но в то же время достаточного интерфейса дополнительного модуля, для пользователя отличий от предыдущей архитектуры нет.

С финансовой точки зрения данная архитектура наиболее предпочтительна по следующим причинам:

- приобретение одной системы, все возможности которой будут использованы;
- быстрая и недорогая разработка нового модуля;
- быстрое внедрение и последующее недорогое обслуживание.

Выводы

В ходе исследования было выяснено, что наиболее выгодной архитектурой для проектируемого программного комплекса является EAM система с модулем Service Desk. Она сочетает в себе быструю и недорогую разработку, быстрое внедрение и недорогое обслуживание, тем самым устраняя недостатки первой архитектуры. В то же время пользователи получают систему с мощным функционалом ТОИР, который полностью обеспечивают все возможные потребности в автоматизации технического обслуживания и ремонтов оборудования, с возможностью регистрировать обращения с информацией о текущем состоянии оборудования, если оно эксплуатируется клиентом, что устраняет недостатки второй архитектуры. Таким образом, если модуль Service Desk будет опциональным, то получится универсальное решение как для производственных, так и для сервисных предприятий.

Список литературы:

1. Enterprise Asset Management. Системы управления основными фондами предприятия // TAdviser – портал выбора технологий и поставщиков: [сайт]. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/EAM> (дата обращения: 21.09.2020).
2. Chongshan, R. Design and implementation of EAM system based on Web Service / R. Chongshan, G. Guili / 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, pp. 477-480.
3. CMMS система // Новософт. Разработка программного обеспечения, систем управления предприятием: [сайт]. – URL: <http://www.novosoft.ru/nerpa/cmms-sistema.shtml> (дата обращения: 21.09.2020).
4. Hussien, H.A. Automated inspection planning system for CMMs / H.A. Hussien, A.M. Youssef, M.K. Shoukry // International Conference on Engineering and Technology (ICET), Cairo, 2012, IEEE, pp. 1-6.
5. Ковалев, А.В. Доступный ITIL. Настольная книга ИТ руководителя. Часть 1. Эксплуатация сервисов. / А.В. Ковалев. – М.: Тезаурис. – 2018. – 450 с. – ISBN: 978-5-98421-327-1.
6. IT Service Management. Системы управления ИТ-службой // T Adviser – портал выбора технологий и поставщиков: [сайт]. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/ITSM> (дата обращения: 20.09.2020).
7. ITSM и ITIL. Как использовать? В чем отличия и суть? // OKDesk: [сайт]. – URL: <https://okdesk.ru/blog/itsm-til> (дата обращения: 20.09.2020).
8. Varga, S. Increasing Information Systems Availability Through Accuracy, Awareness, Completeness and Manageability of ITSM / S. Varga, G. Barreto, P.D. Battaglin // 14th Iberian Conference on Information

References:

1. Enterprise Asset Management. Sistemy upravlenija osnovnymi fondami predpriyatija // TAdviser – portal vybora tehnologij i postavshhikov: [sajt]. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/EAM> (data obrashhenija: 21.09.2020).
2. Chongshan, R. Design and implementation of EAM system based on Web Service / R. Chongshan, G. Guili / 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, pp. 477-480.
3. CMMS sistema // Novosoft. Razrabotka programmogo obespechenija, system upravlenija predpriatiem: [sajt]. – URL: <http://www.novosoft.ru/nerpa/cmms-sistema.shtml> (data obrashhenija: 21.09.2020).
4. Hussien, H.A. Automated inspection planning system for CMMs / H.A. Hussien, A.M. Youssef, M.K. Shoukry // International Conference on Engineering and Technology (ICET), Cairo, 2012, IEEE, pp. 1-6.
5. Kovalev, A.V. Dostupnyj ITIL. Nastol'naja kniga IT rukovoditelja. Chast' 1. Jekspluatacija servisov. / A.V. Kovalev. – M.: Tezaurus. – 2018. – 450 s. – ISBN: 978-5-98421-327-1.
6. IT Service Management. Sistemy upravlenija IT-sluzhboj // TAdviser – portal vybora tehnologij i postavshhikov: [sajt]. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/ITSM> (data obrashhenija: 20.09.2020).
7. ITSM i ITIL. Kak ispol'zovat? V chem otlichijaisut'? // OKDesk: [sajt]. – URL: <https://okdesk.ru/blog/itsm-til> (data obrashhenija: 20.09.2020).
8. Varga, S. Increasing Information Systems Availability Through Accuracy, Awareness, Completeness and Manageability of ITSM / S. Varga, G. Barreto, P.D. Battaglin // 14th Iberian Conference on Information

Battaglin // 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Coimbra, Portugal, 2019, IEEE, pp. 1-4.

9. Эвес, Д. ITIL. Поддержка услуг. / Д. Эвес, Ж. Пойнтер. – Лондон: TSO. – 2005. – 418 с. – ISBN: 0-11-330948-1.

10. ITIL для не ИТ-подразделений // Digital Enterprise: [сайт]. – URL: <https://cleverics.ru/digital/2016/07/itil-dlya-ne-it-podrazdelenij/> (дата обращения: 20.09.2020).

Systems and Technologies (CISTI), Coimbra, Portugal, 2019, IEEE, pp. 1-4.

9. Jeves, D. ITIL. Podderzhka uslug. / D. Jeves, Zh. Pojnter. – London: TSO. – 2005. – 418 s. – ISBN: 0-11-330948-1.

10. ITIL dlja ne IT-podrazdelenij // Digital Enterprise: [sajt]. – URL: <https://cleverics.ru/digital/2016/07/itil-dlya-ne-it-podrazdelenij/> (data obrashhenija: 20.09.2020).

Статья поступила в редколлегию 30.10.2020.

Рецензент: д-р. техн. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Захарова А.А.

Статья принята к публикации 17.11.2020.

Сведения об авторах

Титарёв Дмитрий Викторович

к. т. н. доцент кафедры «Информатика и программное обеспечение» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
E-mail: titaryovdv@mail.ru

Сериков Андрей Геннадиевич

начальник отдела ТОИР-систем
ООО «Деснол Софт Брянск»
E-mail: serikovag@desnol.ru

Кривцанов Сергей Олегович

студент группы О-20-ПРИ-ппс-м кафедры «Информатика и программное обеспечение» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
E-mail: krivtsanovso@gmail.com

Information about authors:

Titaryov D.V.

candidate of technical Sciences, docent of the Department of Computer Science and software of the Bryansk State Technical University
E-mail: titaryovdv@mail.ru

Serikov A.G.

Head of MRO-systems department,
Desnol Soft Bryansk LLC
E-mail: serikovag@desnol.ru

Krivtsanov S.O.

student of group O-20-PRI-pps-m of the Department of Computer Science and software of the Bryansk State Technical University
E-mail: krivtsanovso@gmail.com

УДК: 674.05.004.5

DOI: 10.30987/2658-6436-2020-4-60-67

Б.Н. Прусс, В.А. Романов, Я.С. Прозоров, О.Ю. Плескачева

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР, СОКРАЩАЮЩИХ ТЕПЛОПОТЕРИ

В работе изложена теория расчета теплотерь через ограждения лесосушительных камер. Описано программное обеспечение для компьютерного моделирования процесса передачи тепловой энергии через ограждения лесосушительной камеры, состоящих из различных теплоизоляционных материалов для расчета теплотерь во время сушки пиломатериалов. Экспериментально подтверждена эффективность использования современных теплоизоляционных материалов для сокращения тепловых потерь при сушке пиломатериалов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, конструкции ограждений, лесосушительные камеры, теплотери.

B.N. Pruss, V.A. Romanov, Y.S. Prozorov, O.U. Pleskacheva

COMPUTER MODELING OF THE STRUCTURE OF FOREST DRYING CHAMBERS, REDUCING HEAT LOSS

The paper presents the theory of calculating heat loss through the fences of timber drying chambers. The software for computer modeling of the process of transferring heat energy through the fences of the drying chamber, consisting of various heat-insulating materials, for calculating heat losses during drying of sawn timber is described. The efficiency of the use of modern heat-insulating materials to reduce heat losses during drying of sawn timber has been experimentally confirmed.

Keywords: computer modelling, fencing structures, timber drying chambers, heat loss.

Введение

Сушка – обязательная часть технологического процесса выработки пиломатериалов. Непросушенные пиломатериалы не могут считаться готовой продукцией, подлежащей реализации, а технологический процесс их изготовления – законченным. Влажные пиломатериалы подвержены грибковым заболеваниям и не пригодны для дальнейшей механической обработки и производства из них готовых изделий [1].

Для сушки древесины применяются технологии и оборудование, обеспечивающие сохранение качества древесины и не сопровождающиеся ее механическими повреждениями. В настоящее время известен целый ряд различных способов сушки древесины. Однако наиболее приемлемым способом сушки древесины на деревообрабатывающих предприятиях небольшой мощности большинство специалистов считают конвективный способ сушки в сушильных камерах периодического действия.

Объектом исследования является изучение процессов сушки пиломатериалов с целью снижения их себестоимости путем уменьшения потерь тепловой энергии через ограждения лесосушительных камер.

Задачами исследования являются определение конструкции ограждений лесосушительной камеры, обладающих минимальными теплотерями.

Научной новизной работы является компьютерное моделирование процесса передачи тепловой энергии через ограждения лесосушительной камеры, состоящих из различных теплоизоляционных материалов для расчета теплотерь во время сушки пиломатериалов.

Данное исследование является актуальным. Так как многие лесопильные и деревообрабатывающие предприятия применяют сушку пиломатериалов в стационарных лесосушильных камерах, в процессе которой много тепловой энергии просто улетучивается в атмосферу из-за несовершенства конструкции ограждений лесосушильных камер. Это является большим минусом для предприятий, так как для их успешной экономической деятельности необходимо эффективное использование энергетических и сырьевых ресурсов.

Методика расчета потерь тепла через ограждения камеры

Потери тепла через ограждения камеры в единицу времени $Q_{огр}$, кВт, определяются по формуле

$$Q_{огр} = F_{огр} \cdot k \cdot (t_k - t_0) \cdot c \cdot 10^{-3},$$

где $F_{огр}$ – площадь поверхности ограждений камеры, m^2 ;

k – коэффициент теплопередачи соответствующего ограждения, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$;

t_k – температура среды в камере, $^\circ C$;

t_0 – расчетная температура наружного воздуха для зимних и среднегодовых условий, $^\circ C$;

c – коэффициент, учитывающий высокую температуру в камере, $c = 1,5-2$.

Расчет теплопотерь ведется для крайней в блоке лесосушильной камеры.

Расчет потерь тепла рекомендуется вести в следующей последовательности.

Вначале определяются по известным внутренним размерам камеры площади ограждения.

При расчете площади дверей, если неизвестны их размеры следует ориентировочно принять:

– высоту дверей: $h_{дв} = h_{шт} + 0,2$, м;

– ширину дверей:

а) при продольной загрузке: $b_{дв} = b_{шт} + 0,2$, м;

б) при поперечной загрузке: $b_{дв} = L_{шт} + 0,2$, м,

где $h_{шт}$, $b_{шт}$, $L_{шт}$ – соответственно высота, ширина и длина штабеля, м.

После расчета поверхностей ограждений рассчитываются коэффициенты теплопередачи K , $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$, по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи для внутренних поверхностей ограждений, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$,

$\alpha_1 = 25$ $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи для наружных поверхностей ограждений, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$, (принимается для наружного воздуха $\alpha_2 = 23$, для отапливаемых помещений $\alpha_2 = 9$, для не отапливаемых и чердачных помещений $\alpha_2 = 12$ $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$);

S_1, S_2, S_n – толщина слоев ограждений, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ – коэффициент теплопроводности материала соответствующих слоев ограждений, $Вт/м \cdot ^\circ C$.

Во избежание конденсации водяных паров сушильного агента на внутренних поверхностях ограждений, коэффициент теплопередачи не должен превышать $0,7$ $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Коэффициент теплопередачи перекрытия не должен превышать $0,6$ $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Коэффициент теплопередачи пола принимается $0,5K_{ст}$.

Температура среды принимается как средняя между температурой на входе и выходе из штабеля.

Расчетная температура наружного воздуха принимается, исходя из конкретных условий эксплуатации лесосушильных камер. Рекомендуется камеры периодического действия устанавливать внутри отапливаемого помещения. В этом случае температура наружной среды принимается для всех ограждений $t = (15-20) \text{ }^\circ\text{C}$.

Анализ утеплителей, применяемых в конструкции стен и крыш сушильных камер

В современных условиях удорожания топливных ресурсов встает вопрос о выборе качественного теплоизоляционного материала. Лучшим теплоизоляционным материалом для сушильных камер на сегодняшний день, бесспорно, является пенополиуретан (ППУ).

Для полиуретановой теплоизоляции характерно следующее:

- самый низкий коэффициент теплопроводности;
- высокая адгезия к различным материалам;
- термическая прочность;
- низкая плотность;
- низкая паропроницаемость;
- малое водопоглощение;
- антикоррозионная защита;
- устойчивость формы;
- легкость;
- экологическая безопасность;
- долговечность покрытия.

Пенополиуретан – на сегодняшний день самый эффективный утеплитель в мире. Пенополиуретан – технологичный, качественный, уникальный по своим характеристикам, теплоизоляционный материал. Пенополиуретан идеально подходит для утепления и ремонта фасадов зданий с недостаточной теплоизоляцией. Пенополиуретан – лидер по значению термического сопротивления среди других утеплительных материалов. Коэффициент теплопроводности пенополиуретана $0,025 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$. Ближайший по качеству (но уступающий по технологичности), экструдированный пенополистирол имеет коэффициент теплопроводности $0,03 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$. На теплопроводность пенополиуретана не влияет влажность, чего не скажешь о других теплоизоляционных материалах. Влагопоглощение пенополиуретана при влажности 98 % за сутки - $0,04 \text{ %}$ или 2 г/м^2 . Сэндвич панели на основе пенополиуретана производятся с помощью заливочных машин высокого давления. Образование пенополиуретана происходит при реакции двух жидких компонентов: полиола и полиизоцианата. В результате образуются микрокапюли, заполненные воздухом, где более 90% ячеек пенополиуретана замкнуты. Если в компоненты для получения пенополиуретана включены антипирены, то пенополиуретан относится к группе трудновозгораемых материалов. Пенополиуретан не поддерживает самостоятельного горения. Если убрать источник горения – пенополиуретан гаснет, не тлеет и не дымит. Физические параметры пенополиуретана стабильны в широком температурном диапазоне от -180 до $+150$ градусов. Пенополиуретан не токсичен. Пенополиуретан биологически нейтрален, устойчив к микроорганизмам, плесени, гниению. Нет химических причин для разрушения правильно сделанного пенополиуретана. При отсутствии механических повреждений, срок службы пенополиуретана оценивается не менее 25 - 30 лет.

Для сравнения: керамзитовый гравий имеет коэффициент теплопроводности от $0,12$ до $0,14 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$, пеностекло или газостекло - $0,84 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$, маты минераловатные прошивные - $0,056 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$, пенополистирол - $0,038-0,042 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$, а пенополиуретаны от $0,019$ до $0,035 \text{ Вт/м }^\circ\text{C}$.

Применение пенополиуретана в качестве кровельного материала очень эффективно, благодаря его уникальным свойствам. Покрытие поверхности пенополиуретаном

обеспечивает надежную гидроизоляцию и пароизоляцию кровли, что позволяет сократить расходы на применение дополнительных изоляционных материалов. Материал наносится на поверхность в жидком виде под давлением. Вспениваясь, через 5 – 7 с пенополиуретан затвердевает, принимая форму самой поверхности, не оставляя щелей и пустот. Теплоизоляционный слой из пенополиуретана легкий, не нагружает конструкцию. В то же время, обладая достаточной жесткостью и хорошим сцеплением с поверхностью, пенополиуретан укрепляет конструкцию.

В табл. 1 представлен сравнительный анализ технико–экономической эффективности при использовании жесткого пенополиуретана и традиционной минеральной ваты.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технико–экономической эффективности при использовании жесткого пенополиуретана и традиционной минеральной ваты

Показатели	Пенополиуретан	Минеральная вата
Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С	0,019-0,035	0,038-0,078
Степень плотности, кг/м ³	40-160	55-150
Пористость	закрытая	открытая
Диапазон рабочих температур, °С	-160 +180	-40 +120
Влага, агрессивные среды	устойчив	Теплоизоляционные свойства теряются, восстановлению не подлежит
Экологическая чистота	безопасен	аллерген
Фактические тепловые потери	в 1,7 раза ниже нормативных	превышение нормативных после 12 месяцев эксплуатации
Горючесть	трудногорючий	трудногорючая
Эффективный срок службы, лет	25-30	5

Компьютерное моделирование процесса передачи тепловой энергии через ограждения камеры

Для эффективной конструкции ограждений лесосушильных камер в данной работе предлагается провести компьютерное моделирование процесса передачи тепловой энергии через ограждения камеры, состоящих из различных теплоизоляционных материалов. Для этого необходимо разработать специальную программу для расчета потерь тепла через ограждения камеры в процессе сушки пиломатериалов в единицу времени [2].

Для расчета потерь тепла через ограждения, в таблицы на форме ввода данных заносятся наименование и размеры камеры, наименование и толщины слоев ограждений, материалы из которых выполнены ограждения. Форма ввода данных с заполненными таблицами представлена на рис.1.

Также в программе предусмотрены формы коэффициентов и температур для изменения значений: высокой температуры в камере; коэффициента теплоотдачи для внутренних поверхностей ограждений; коэффициента теплоотдачи для наружных поверхностей ограждений; температуры среды в камере; расчетной температуры наружного воздуха для зимних и среднегодовых условий [3].

Результаты расчетов выводятся с помощью формы вычислений, представленной на рис. 2.

С помощью разработанного программного обеспечения сравним толщины теплоизоляционных материалов, которые соответствуют 100 см кирпичной кладки.

Введите наименование и размеры комнаты

Порядковый номер	Наименование комнаты	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Высота двери, м	Ширина двери, м
1	УЛ-1	7	3	5,4	3,2	2

Введите наименование и толщину слоя

Порядковый номер	Толщина слоя	Наименование ограждения	Наименование материала
3	0,2	нар. бок. стена	Железобетон
4	0,13	нар. бок. стена	Пенополиуретан
5	0,3	нар. бок. стена	Железобетон
6	0,2	Торцовая стена	Железобетон
7	0,13	Торцовая стена	Пенополиуретан
8	0,3	Торцовая стена	Железобетон
9	0,2	Тор. стена. без дв.	Железобетон
10	0,13	Тор. стена. без дв.	Пенополиуретан
11	0,3	Тор. стена. без дв.	Железобетон
12	0,15	Перекрытие	Железобетон
13	0,2	Перекрытие	Пенополиуретан
14	0,01	Перекрытие	Рубероид, толь
15	0,003	Дверь	Сталь строительная
16	0,003	Дверь	Алюминий
17	0,08	Дверь	Вата минеральная
18	0,005	Дверь	Асбцементные плиты

Далее

Рис. 1. Форма ввода данных

Ограждение	Площадь, F	K	Tk	To	Tk-To	Q
Наружная боковая стена	29,92	,177	83	-30	113	1,02
Торцовая стена	10,88	,177	83	-30	113	,37
Торцовая стена без учета площади двери	4,48	,177	83	-30	113	,15
Перекрытие	28,16	,12	83	-30	113	,65
Пол	28,16	,088	83	-30	113	,48
Дверь	6,4	,29	83	-30	113	,36

Расчет

Экспорт в Excel

Рис. 2. Форма с результатами вычислений для зимних условий

При толщине кирпичного ограждения 100 см, его коэффициент теплопередачи равен $0,71 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$. Затем методом подбора определяем такую толщину других теплоизоляционных материалов, чтобы их коэффициент теплопередачи был примерно равен $0,71 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$.

Сравнительная характеристика толщин теплоизоляционных материалов, соответствующих 100 см кирпичной кладки приведена в табл.2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика толщин теплоизоляционных материалов, соответствующих 100 см кирпичной кладки

Наименование теплоизоляционного материала	Толщина, см
Пенополиуретан	3,9
Пеноизол	4,7
Пенополистирол	6,1
Базальтовое волокно	6,6
Стекловолоконное (URSA)	7,5
Минеральная вата	8,1
Строительный кирпич	100

Таким образом, пенополиуретан имеет самое низкое значение толщины – 3,9 см, следовательно, является самым экономически выгодным материалом. Пенополиуретан оказался самым «теплым» из известных теплоизоляционных материалов, так как имеет самый низкий коэффициент теплопроводности.

Рассмотрим несколько вариантов конструкций ограждений лесосушильных камер и рассчитаем потери тепла через ограждения камеры по каждому варианту с помощью разработанной программы.

В первом варианте конструкция стен камеры состоит из двух слоев железобетона, между которыми залит пенополиуретан. Толщина наружного слоя железобетона равна 200 мм. Толщина слоя пенополиуретана равна 130 мм. Толщина внутреннего слоя железобетона равна 300 мм. Межкамерные стены имеют одинаковую толщину наружного и внутреннего слоев железобетона, равную 200 мм.

Конструкция перекрытия состоит из железобетонных плит толщиной 150 мм, покрытых пенополиуретаном и рубероидом. Толщина слоя пенополиуретана равна 200 мм.

В табл. 3 представлены результаты расчета потерь тепла через ограждения камеры по первому варианту.

Таблица 3. Результаты расчета потерь тепла через ограждения камеры по первому варианту

Наименование ограждения	Потери тепла через ограждения, кВт
Зимние условия	
Наружная боковая стена	1,02
Торцовая стена	0,37
Торцовая стена без учета площади двери	0,15
Перекрытие	0,65
Пол	0,48
Дверь	0,36
Среднегодовые условия	
Наружная боковая стена	0,71
Торцовая стена	0,26
Торцовая стена без учета площади двери	0,11
Перекрытие	0,46
Пол	0,33
Дверь	0,25

Во втором варианте используем параметры конструкции ограждений сборно – металлической камеры УЛ – 1, которые показаны на рис. 3.

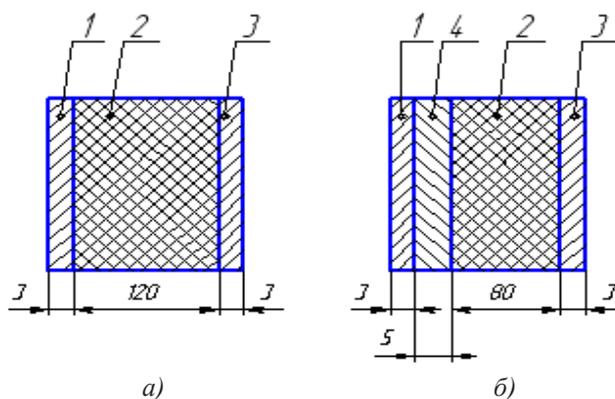


Рис. 3.Схема многослойных ограждений сборно-металлической камеры УЛ – 1: а- стена; б- дверь; 1 – сталь; 2 – утеплитель; 3 – алюминий; 4 – листовая асбест

Аналогично первому варианту рассчитаны потери тепла через ограждения камеры по второму варианту. В табл. 4 представлены результаты расчета потерь тепла через ограждения камеры по второму варианту.

Таблица 4. Результаты расчета потерь тепла через ограждения камеры по второму варианту

Наименование ограждения	Потери тепла через ограждения, кВт
Зимние условия	
Наружная боковая стена	7,84
Торцовая стена	1,68
Торцовая стена без учета площади двери	1,1
Перекрытие	2,18
Пол	1,09
Дверь	0,81
Среднегодовые условия	
Наружная боковая стена	5,51
Торцовая стена	1,18
Торцовая стена без учета площади двери	0,77
Перекрытие	1,53
Пол	0,77
Дверь	0,57

Более наглядно разница в потерях тепла по вариантам показана на рис.4.

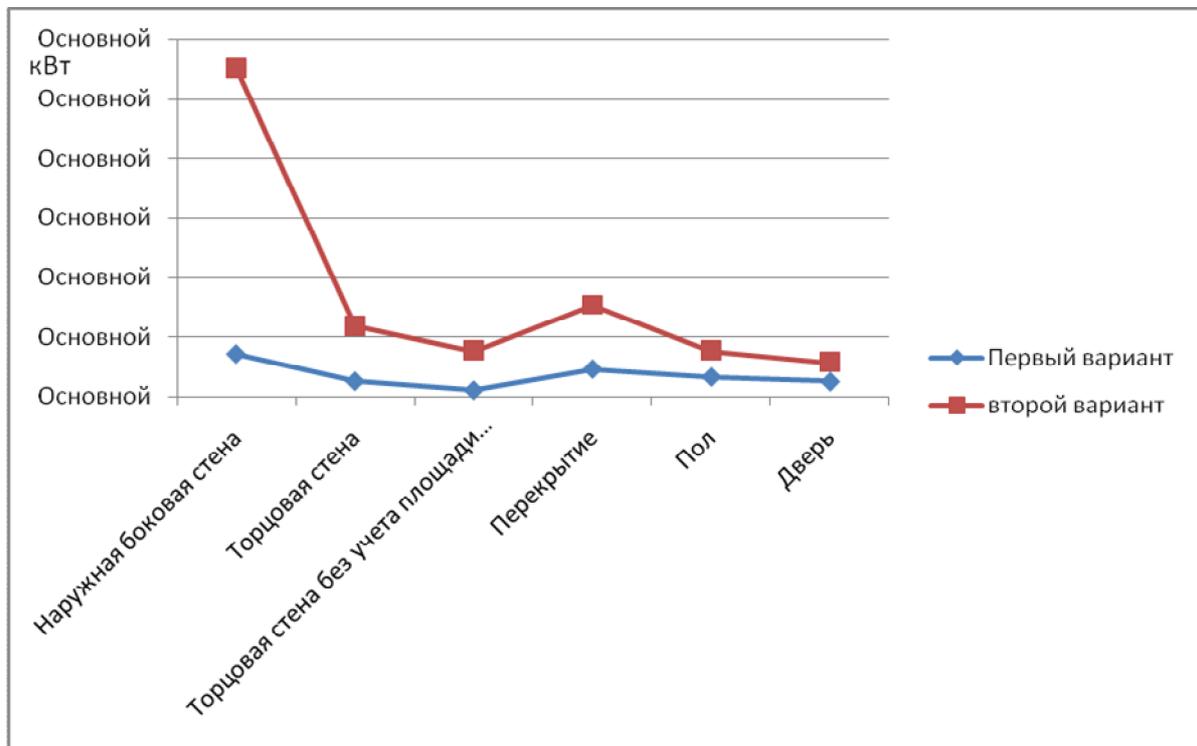


Рис.4. Графики, отражающие потери тепла через ограждения камер по вариантам

Как видно на рис.4 конструкция ограждений лесосушильной камеры по первому варианту более эффективна.

Выводы

По полученным результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- при проектировании ограждений лесосушильных камер необходимо использовать современные теплоизоляционные материалы;
- наиболее эффективным теплоизоляционным материалом является пенополиуретан;
- компьютерное моделирование процесса передачи тепловой энергии через ограждения лесосушильной камеры, состоящих из различных теплоизоляционных материалов позволяет быстро подобрать конструкцию ограждений камеры, обеспечивающую минимальные теплотери во время сушки пиломатериалов.

Список литературы:

1. Баланцева, Н.Б. Совершенствование метода расчета конвективной сушки пиломатериалов / Н.Б. Баланцева, В.И. Мелихов, О.А. Калиничева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – №4. – С. 132-139.
2. Лукаш, А.А. Интенсификация процесса сушки оцилиндрованных бревен / А.А. Лукаш, Е.С. Гришина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2014. – №2. – С. 86-93.
3. Автоматизированный технологический расчет камер для сушки пиломатериалов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610401 Российская Федерация / Б.Н. Прусс, В.А. Романов, Я.С. Прозоров. – №2019667123; заявл. 23.12.2019; опубл. 14.01.2020, Бюл. № 1. – 1 с.

References:

1. Balanceva, N.B. Sovershenstvovanie metoda rascheta konvektivnoj sushki pilomaterialov / N.B. Balanceva, V.I. Melihov, O.A. Kalinicheva // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2018. – №4. – S. 132-139.
2. Lukash, A.A. Intensifikacija processa sushki ocilindrovannyh breven / A.A. Lukash, E.S. Grishina // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2014. – № 2. – S. 86-93.
3. Avtomatizirovannyj tehnologicheskij raschet kamer dlja sushki pilomaterialov: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2020610401 Rossijskaja Federacija / B.N. Pruss, V.A. Romanov, Ja.S. Prozorov. – № 2019667123; zajavl. 23.12.2019; opubl. 14.01.2020, Bjul. № 1. – 1 s.

Статья поступила в редколлегию 15.10.2020.

Рецензент: канд. биол. наук, доц.,

Брянский государственный технический университет

Кузьменко А.А.

Статья принята к публикации 25.11.2020.

Сведения об авторах

Прусс Борис Наумович

к.т.н., доцент кафедры информационных технологий
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-
технологический университет»
E-mail: prussbor@gmail.com

Романов Виктор Александрович

к.т.н., доцент кафедры технологии деревообработки
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-
технологический университет»
E-mail: vromanov62@mail.ru

Прозоров Ярослав Сергеевич

к.т.н., главный инженер по разработке
ПАО "Сбербанк"
E-mail: yprozorov@gmail.com

Плескачева Ольга Юрьевна

к.пед.н., доцент кафедры прикладной механики и
физики ФГБОУ ВО «Брянский государственный
инженерно-технологический университет»
E-mail: pleskacheva@inbox.ru

Information about authors:

Pruss B.N.

candidate of technical Sciences, docent of the Department
of Information Technologys of the Bryansk State
Technological University of Engineering
E-mail: prussbor@gmail.com.

Romanov V.A.

candidate of technical Sciences, docent of the Department
of Wood working Technology of the Bryansk State
Technological University of Engineering
E-mail: vromanov62@mail.ru

Prozorov Ya.S.

candidate of technical Sciences,
Chief Development Engineer of PJSC Sberbank
E-mail: yprozorov@gmail.com

Pleskacheva O.Yu.

candidate of pedagogical Sciences ,docent of the
Department of Applied Mechanics and Physics of the
Bryansk State Technological University of Engineering,
E-mail: pleskacheva@inbox.ru

Уважаемые читатели!

Приглашаем Вас принять участие в 31-й Международной конференции по компьютерной графике, обработке изображений и машинному зрению, системам визуализации и виртуального окружения **Графикон 2021**, которая состоится 27-30 сентября 2021 года.

ГРАФИКОН 2021



Научные направления конференции

- Интеллектуальные решения в компьютерной графике
- Компьютерное зрение
- Научная визуализация и визуальная аналитика
- Геометрическое моделирование. Компьютерная графика и образование
- Обработка и анализ биомедицинских изображений
- Цифровая Земля и Большие данные
- Компьютерная графика в материаловедении, светотехнике и дизайне
- Автоматизация проектирования, тренажеры и симуляторы
- Искусственный интеллект, когнитивные технологии и робототехника

Программа конференции дополнена молодежной сессией, в рамках которой будут представлены доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, а также проведена выставка-презентация молодежных научных и инновационных проектов.

Все участники конференции получат сертификаты о повышении квалификации. Лучшие доклады и презентации среди участников молодежной сессии будут отмечены дипломами.

Доклады будут опубликованы в сборнике трудов, индексируемом в РИНЦ.

Доклады, поданные на английском языке и отобранные программным комитетом, будут представлены к публикации в издании CEUR Workshop Proceedings (индексируется в Scopus).

Лучшие доклады будут рекомендованы к публикации в виде полнотекстовых статей в журналах «Программирование» (индексируется в Web of Science и Scopus), «Светотехника» (индексируется в Web of Science и Scopus), «Научная визуализация» (индексируется в Scopus), «Геоконтекст».

Если Вы желаете принять участие в конференции **Графикон 2021**, напишите запрос на адрес graphicon2021@nngasu.ru для включения Вас в список новостной рассылки.

<http://nngasu.ru/> <http://graphicon.ru/>



**Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет**

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: aim-pu@mail.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Корректор К.Ю. Андросов.

Сдано в набор 16.12.2020. Выход в свет 30.12.2020.

Объем 50 Мб. ОЗУ 512 Мб. Internet Explorer, Adobe Reader 5.0 и выше.

12+