

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 6

Магистерская научная сессия

«ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ»

Новосибирск
СГУГиТ
2025

Ответственные за выпуск:

Хацевич Т. Н. – модератор магистерской научной сессии, к.т.н., профессор кафедры фотоники и приборостроения

Сырнева А. С. – секретарь магистерской научной сессии, к.т.н., доцент кафедры физики

Рецензенты:

Хацевич Т. Н. – к.т.н., профессор кафедры фотоники

Никулин Д. М. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой фотоники и приборостроения

Михайлов И. О. – к.т.н., доцент кафедры фотоники и приборостроения

Ушаков О. К. – к.т.н., доцент кафедры фотоники и приборостроения

Шойдин С. А. – д.ф.-м.н., профессор кафедры фотоники и приборостроения

Карманов И. Н. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой физики

Михайлова Д. С. – к.т.н., доцент кафедры физики

Усанькова Е. А. – к.т.н., доцент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии

Троеглазова А. В. – доктор философии, доцент кафедры информационной безопасности

Титов Д. Н. – к.т.н., доцент кафедры информационной безопасности

Белов В. М. – д.т.н., профессор кафедры информационной безопасности

Чермошенцев А. Ю. – к.т.н., доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21–22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 6: Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 231 с. – ISSN 2618-981X. – Текст : непосредственный.
DOI 10.33764/2618-981X-2025-6-1

В сборнике опубликованы материалы XXI Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Магистерской научной сессии «Первые шаги в науке».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

Издание может содержать сведения об иностранных агентах

УДК 528

© СГУГиТ, 2025

Д. М. Агеев^{1✉}, Д. М. Никулин¹

Анализ методов центрирования оптических деталей

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: 13aaaa.dima09@gmail.com

Аннотация. В статье проведён анализ методов центрирования оптических деталей. Данная технологическая операция влияет на качество создаваемого оптического изображения. Контроль децентрировки линз и линзовых систем в условиях массового производства оптических и оптико-электронных приборов, систем и устройств является актуальной задачей и позволяет выявить технологические погрешности при их изготовлении и сборке. Рассмотренные в статье технологические и конструктивные методы центрирования оптических деталей позволяют выполнить их сравнение для выявления достоинств и недостатков. Анализ методов центрирования оптических деталей показал, что автоматизация этого процесса повышает точность при обработке детали и позволяет улучшить разрешение и контрастность изображения, а также повысить общую надежность и долговечность оптической системы.

Ключевые слова: центровка оптических деталей, центрировочная станция, оптические системы

D. M. Ageev^{1✉}, D. M. Nikulin¹

Analysis of methods for centering optical details

¹Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: 13aaaa.dima09@gmail.com

Abstract. The article analyzes the methods of centering optical details. This technological operation affects the quality of the optical image being created. Monitoring the decentering of lenses and lens systems in the conditions of mass production of optical and optoelectronic devices, systems and devices is an urgent task and allows us to identify technological errors in their manufacture and assembly. The technological and constructive methods of centering optical parts considered in the article make it possible to compare them to identify their advantages and disadvantages. An analysis of the methods of centering optical details has shown that automation of this process increases the accuracy of machining parts and minimizes aberrations, improves image resolution and contrast, and increases the overall reliability and durability of the optical system.

Keywords: centering of optical details, centering station, optical systems

Введение

Научно-технический прогресс в области оптического приборостроения неразрывно связан с совершенствованием технологических процессов изготовления деталей.

Появление новых видов инструментов и приемов работы, применение средств автоматизации и новых форм организации труда изменяют технологические процессы изготовления оптических деталей.

Одной из наиболее перспективных областей применения автоматического оборудования в оптическом производстве является операция центрирования.

Центрирование – это операция обработки деталей по диаметру, при которой оптическая и геометрическая оси совмещаются [1, 2]. Необходимость выполнения операции вызвана следующим: в процессе изготовления деталей из-за неравномерного снятия слоя стекла заготовки линз могут иметь клиновидность, которая характеризуется неравномерностью их толщины по краю.

Классически операция центрирования состоит из трех последовательно выполняемых переходов [3-5]:

- совмещение оптической оси линзы с осью вращения шпинделя станка и фиксация этого положения;
- совмещение базовой оси линзы с оптической путем обработки детали по диаметру до заданного размера;
- удаление алмазным инструментом припуска до заданного диаметра под калибр (скобу).

Обзор существующих методов центрирования

Центрирование обычно производится после полирования обеих сферических поверхностей для устранения разнотолщинности края, получающейся при обработке, а также для обработки детали до заданного диаметра.

Одним из основных методов центрирования оптических деталей является механический метод. Заключается он в установке и фиксации положения линзы зажатием между соосно установленными цилиндрическими самоцентрирующимися патронами, настроенными по упорам с автоматическим получением заданного размера (рис. 1).

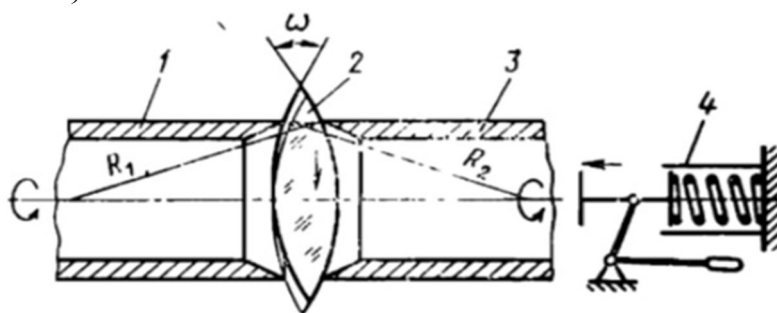


Рис. 1. Центрирование линзы между патронами путем сжатия:

- 1, 3 – самоцентрирующиеся патроны; 2 – центрируемая линза;
4 – пружинное устройство

Известен метод обработки линзы при помощи центрировочного патрона со сдвиговой и поворотной частями, с использованием трубки Забелина, установленной в задней бабке станка (рис. 2) [6].

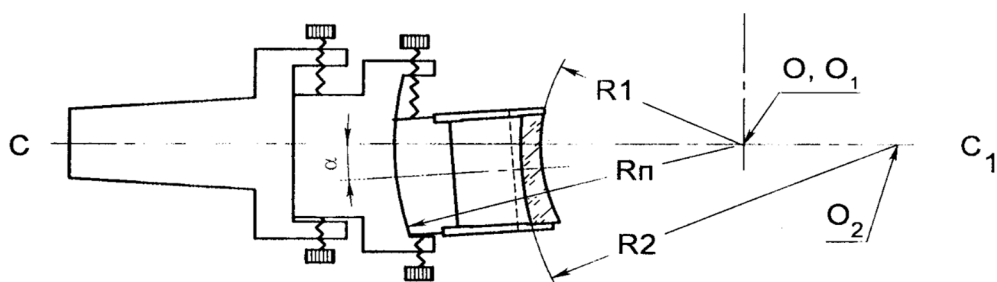


Рис. 2. Центрировочный патрон с установленной линзой:

$C-C_1$ – ось вращения шпинделя; α – угол поворота линзы; O – центр кривизны поворотной части патрона; O_1 – центр кривизны первой поверхности линзы; O_2 – центр кривизны второй поверхности линзы; $R1$ – радиус первой (базовой) поверхности линзы; $R2$ – радиус второй поверхности линзы; Rn – радиус поворотной части патрона

В процессе обработки линзы последовательно центрируют каждую из её поверхностей относительно оси вращения шпинделя. Для этого перемещают сдвиговую часть патрона перпендикулярно оси вращения шпинделя, а затем — поворотную часть патрона.

Особенностью данного метода является то, что при центровке линзы выбирается одна из её поверхностей. Затем линза устанавливается таким образом, чтобы точка выбранной поверхности, определяемая длиной технологической части оправы, находилась в одной плоскости с центром кривизны поворотной части центрировочного патрона.

Известны устройства для центровки оптических элементов с асферическими поверхностями в оправе (рис. 3), центровка которых обычно производится на прецизионных токарных станках [7].

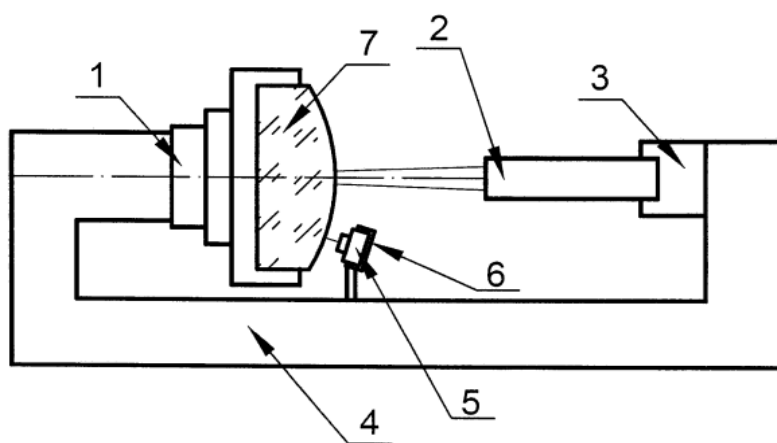


Рис. 3. Схема устройства для центровки оптических элементов с выпуклыми асферическими поверхностями в оправе:

1 – центрировочный патрон; 2 – автоколлимационный датчик; 3 – юстировочное устройство; 4 – станок; 5 – датчик линейных перемещений; 6 – юстировочное устройство датчика линейных перемещений; 7 – оптическая деталь

Недостатком данного устройства является его ограниченная область применения, невозможность обработки оптических деталей с наличием центральных отверстий.

В настоящее время имеется различное автоматизированное оборудование для центрировки линз. На рис. 4 представлена центрировочная станция OptiCentric фирмы TRIOPTICS [8].

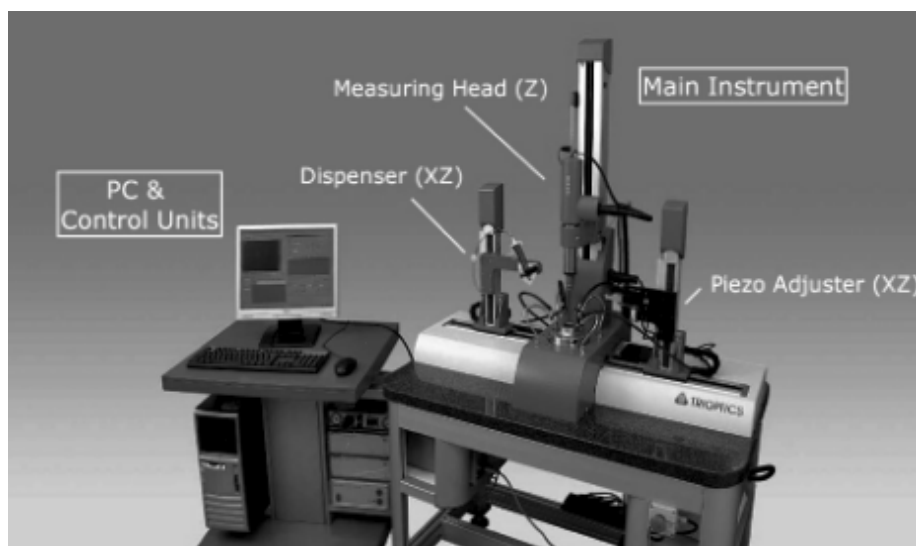


Рис. 4. Центрировочная станция OptiCentric

Для центрировки линзы, ее клеивают в оправу быстроотвердевающим клеем под действием ультрафиолетового излучения и помещают в патрон (цангу) автоматизированного манипулятора для смещения линзы. В данной станции имеется автоматизированный автоколлиматор. К недостаткам такого оборудования можно отнести то, что оно предназначено для центрирования только одной поверхности линзы, вследствие чего у второй поверхности остается децентрировка [9].

Результаты

В табл. 1 представлены результаты сравнения методов центрирования оптических линз.

Таблица 1

Сравнение методов

Метод обработки	Достоинства	Недостатки
С самоцентрирующимися патронами	1. Прост и высокопроизводителен. 2. Позволяет автоматизировать операцию центрирования	1. Невозможно центрировать линзы с поверхностями малой кривизны. 2. Трудоемкость процесса настройки соосности шпинделей станка. 3. Относительно невысокая точность центрировки (не превосходящая 5 мкм) [10]

Метод обработки	Достоинства	Недостатки
Центрировочный патрон со сдвиговой и поворотной частями	1. Повышение производительности центрирования линз. 2. Снятие ограничений на выбор центрировочных поверхностей. 3. Подходит для центрирования склеенных линз.	Поверхность линзы, находящаяся ближе всего к трубке Забелина, не может быть использована или использование её в качестве первой центрировочной поверхности нецелесообразно
Центрирование на прецизионных токарных станках с юстировочным устройством	1. Более точная обработка асферической оптики не более 200 мм в диаметре	Не способно обрабатывать детали с центральным отверстием, а также выпуклых асферических поверхностей большого диаметра
Центрировочная станция OptiCentric	Повышенная точность обработки детали	1. Центрировка только одной поверхности линзы. 2. Дорогое оборудование.

Заключение

В результате выполненных работ был проведен анализ существующих методов центрирования оптических линз. Точное центрирование позволяет улучшить разрешение и контрастность изображения, а также повысить общую надежность и долговечность оптической системы. В данной статье рассмотрены основные методы центрирования, включая механическое центрирование, центрирование с использованием патрона со сдвиговой и поворотными частями, с использованием юстировочного устройства, и центрировочная станция. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют его применимость в конкретных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобылева Е. Г. Оптические технологии и материалы. Центрирование линз: методические указания / Бобылева Е. Г., Парко И. В. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 6 с. – Текст : непосредственный.
2. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов, Э.А. Антонов, А. Байгожин и др.; Под ред. М.А. Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Политехника, 2004. – 679 с. – Текст : непосредственный.
3. Сулим А. В., Производство оптических деталей: А. В. Сулим. Учебник «Производство оптических деталей». – 2-е изд. перераб. и доп. "Высшая школа" Москва, 1969 – 304 с. – Текст : непосредственный.
4. Зубаков В.Г. Технология оптических деталей: учебник для студентов оптических специальностей вузов / В.Г. Зубаков, М.Н. Семибратов, С.К. Штандель. Под ред. М.Н. Семибратова. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Москва "Машиностроение", 1985. – 368 с. – Текст : непосредственный.

5. Грачева И. Н. Геометрическая оптика. Центрированные оптические системы: методические указания / Грачева И. Н., Филиппова Е. А., Фишман А. И. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 31 с. – Текст : непосредственный.
6. Патент RU 2 442 124 C1 Российская Федерация, МПК: G01M 11/00(2006.01), G01B 11/27 +(2006.01); Способ центрирования линзы: №2010148826/28: заявлено 2010.11.29: опубликовано 2012.02.10 / Андреев В. Н., Погорельский С. Л., Лазарев М. Ю., Золотухин А. В. ; заявитель Государственное унитарное предприятие "Конструкторское бюро приборостроения".
7. Патент RU 201539 U1 Российская Федерация, МПК G01B 11/27(2006.01); Устройство центрировки оптических элементов с асферическими поверхностями в оправках: №2020110310: заявлено 2020.03.10: опубликовано 2020.12.21 / Вензель В. И., Семенов А. А. ; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения".
8. Trioptics.com: официальный сайт. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.trioptics.com> Automated Centering and Bonding Machine.
9. Оптический журнал: / Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; Конструкторские и технологические методы обеспечения центрировки линзовых систем: С. М. Латыев, Д. М. Румянцев, П. А. Курицын. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://opticjourn.ru/ru/abstract/2013-80-3-92-96>.
10. Буй Динь Бао: специальность 05.11.07 – оптические и оптико-электронные приборы и комплексы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Анализ и разработка методов центрировки линз и линзовых систем / Буй Динь Бао. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dissercat.com/content/analiz-i-razrabotka-metodov-tsentrivovki-linz-i-linzovykh-sistem>.

© Д. М. Агеев, Д. М. Никулин, 2025

В. О. Архипов¹✉

Автоматизация распознавания объектов на космических снимках методами глубокого обучения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: arhipov-vo2024@sgugit.ru

Аннотация. В работе рассматривается задача автоматизации распознавания объектов на космических снимках с использованием современных методов глубокого обучения. Цель работы: разработать автоматизированный подход в решении задачи распознавания объектов на космических снимках с применением методов глубокого обучения. Был определен наиболее эффективный подход к обучению нейросети для решения данной задачи. Для построения датасета использовались изображения с Google Maps, для разметки применялся сервис Roboflow. Было собрано и размечено 244 изображения разрешением 1024×1024. Для сравнения двух подходов использовалась модель YOLOv11 из фреймворка Ultralytics. Модель была обучена на платформе Kaggle. Результаты эксперимента показали, что предобученная модель достигает более высоких показателей точности обнаружения объектов и наложения маски на собранном датасете, чем при обучении «с нуля»: точность обнаружения составила 0,816 против 0,72, а метрика наложения маски – 0,814 против 0,719 соответственно. В дальнейшем планируется масштабирование экспериментов на большие датасеты для уточнения и обобщения выводов.

Ключевые слова: нейронная сеть, python, датасет, ultralytics, yolo, глубокое обучение

V. O. Arkhipov¹✉

Training a neural network to search for people in photos obtained from a UAV

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: arhipov-vo2024@sgugit.ru

Abstract. This paper addresses the task of automating object recognition in satellite imagery using modern deep learning methods. The objective of the study is to develop an automated approach for object recognition in satellite images with the application of deep learning techniques. The most effective approach for training the neural network for this task was identified. Google Maps images were used to compile the dataset, and the Roboflow service was employed for annotation. A total of 244 images with a resolution of 1024×1024 were collected and annotated. The YOLOv11 model from the Ultralytics framework was used to compare two approaches. The model was trained on the Kaggle platform. The experimental results showed that the pretrained model achieved higher detection accuracy and mask overlay metrics on the collected dataset than training “from scratch”: detection accuracy reached 0,816 compared to 0,72, and the mask overlay metric was 0,814 compared to 0,719, respectively. In the future, it is planned to scale the experiments to larger datasets to refine and generalize the findings

Keywords: neural network, python, dataset, ultralytics, yolo, deep learning

Введение

Задача анализа объектов на космических снимках актуальна в разных областях, например, распознавание участков поврежденных лесов, мониторинг землепользования, состояния растительности и городского развития, ликвидация последствий стихийных бедствий, мониторинг изменений характеристик поверхности, отслеживание лесных пожаров, создание цифровых карт [2 – 16].

На сегодняшний день одним из самых продвинутых и перспективных методов компьютерного зрения является глубокое обучение и нейронные сети. Применение методов глубокого обучения может позволить более эффективно обрабатывать большие массивы данных и снизить трудозатраты в сравнении с ручной обработкой [1 – 16].

Цель работы: разработать автоматизированный подход в решении задачи распознавания объектов на космических снимках с применением методов глубокого обучения.

Задачи:

- собрать датасет;
- обучить нейросетевую модель;
- разработать подход к автоматизации распознавания объектов на космических снимках.

Выбор фреймворка и модели

Проводилось сравнение нескольких популярных фреймворков и представленных в них моделей на схожих по специфике данных (объекты на снимках с БПЛА): Ultralytics, Detectron, MMDetection. В итоге был выбран Ultralytics, так как с его помощью удалось обучить наиболее точные модели, а также в сравнении с другими фреймворками он выделяется простотой настройки и обширной документацией. Он включает в себя множество различных современных моделей для обнаружения объектов, таких как RT-DETR, YOLO, SAM, и т.д [1, 23].

Модель YOLOv11 – наиболее точная и производительная модель среди представленных (рис. 1).

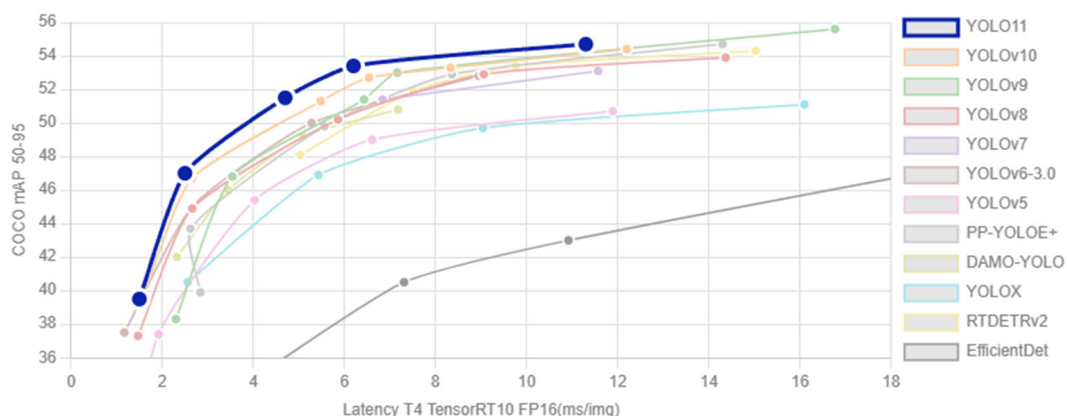


Рис. 1. График сравнения моделей [22]

Архитектура YOLO использует подход, в котором обнаружение объектов рассматривается как единая регрессионная задача, предсказывая ограничительные рамки и вероятности классов непосредственно по полным изображениям за одну оценку. Благодаря этому методу модели YOLO работают значительно быстрее, чем предыдущие двухэтапные детекторы, сохраняя при этом высокую точность [23].

Разметка данных

Существует множество сервисов, предоставляющих доступ к спутниковым снимкам, например, EarthExplorer, Google Earth Engine, Sentinel Hub, Google Maps, Яндекс Карты [17, 18, 22].

Снимки для датасета были взяты с Google Maps: с помощью снимка экрана получены изображения разрешением $\sim 2500 \times 1400$, при этом снимок максимально был приближен таким образом, чтобы здания могли быть распознаны и изображение не потеряло в качестве, т.е. с расчетной высотой обзора ~ 20 -30 метров.

Поскольку здания могут быть разной формы и в разном расположении на снимке (угол поворота, угол съемки), что затрудняет использование прямоугольной разметки, было решено использовать сегментацию для более качественного обучения и точного распознавания зданий нейросетью. Есть два вида сегментации: семантическая и instance-сегментация. Разметка была осуществлена семантической сегментацией, т.е. с использованием одного класса – buildings.

Для разметки применялся сервис Roboflow ввиду удобства его использования, поддержки различных форматов, в том числе и формата yolo, а также наличия разных полезных функций для постобработки [24].

Модель Yolo принимает на вход квадратные изображения с установленным при обучении разрешением, величина которого влияет на размер нейросети и ее производительность, поэтому изображения были поделены на 4 части и сжаты до разрешения 1024×1024 . Размер собранного датасета – 244 изображения (рис. 2).

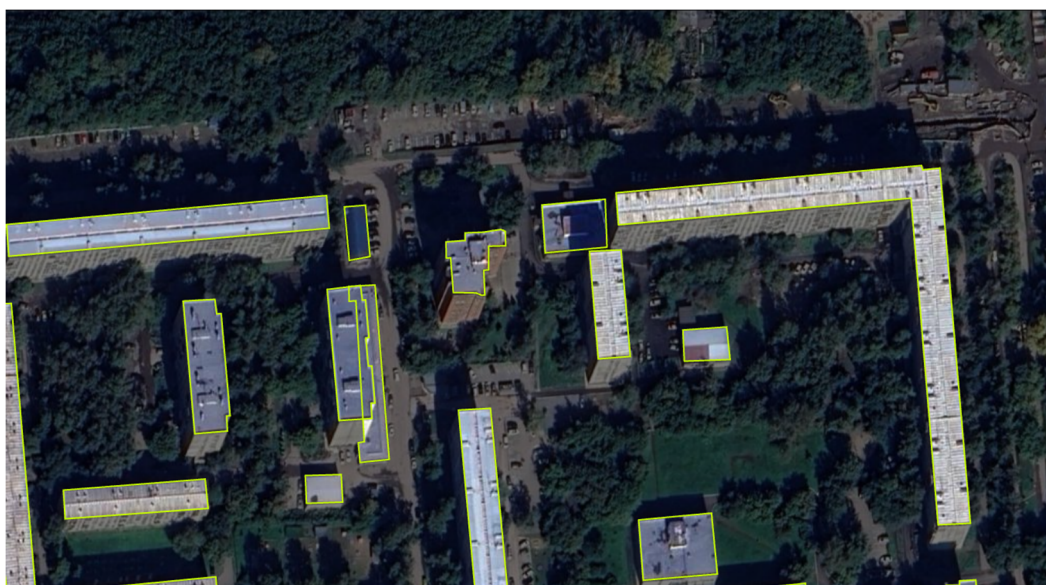


Рис. 2. Фрагмент размеченного изображения

Обучение модели

Многие популярные фреймворки для обучения нейросетей-детекторов имеют предобученные на больших датасетах (COCO, ImageNet и т.п.) модели и предоставляют возможность их дообучения и обучения «с нуля». Дообучение на целевых данных может лучше сказаться на результатах, однако, что если данные в датасетах сильно различаются? Стандартные датасеты содержат изображения с объектами, снятыми крупным планом в высоком разрешении: люди, животные, растения, транспорт и тд, а эти данные отличаются по специфике от данных со спутниковых снимков, например, зданий, которые представляют собой объекты с низким разрешением. Был проведен эксперимент для выявления самого подходящего подхода из двух [23].

Для обучения использовались:

- Платформа Kaggle с графическим ускорителем P100;
- Фреймворк Ultralytics 8.3.130;
- Pytorch 2.5.1;
- CUDA 12.4;
- Параметры: epochs=100, imgsz=1024, batch=4.

Результаты обучения показывают, что предобученная модель обучилась лучше, точность обнаружения – 0,816 против 0,72, точность наложения маски – 0,814 против 0,719 (табл. 1).

После обучения модели были протестированы на изображении, которого нет в датасете. По результатам распознавания видно, что предобученная модель более уверенно размечает здания, маски точнее, меньше пропусков, однако ложные срабатывания также присутствуют (рис. 3).

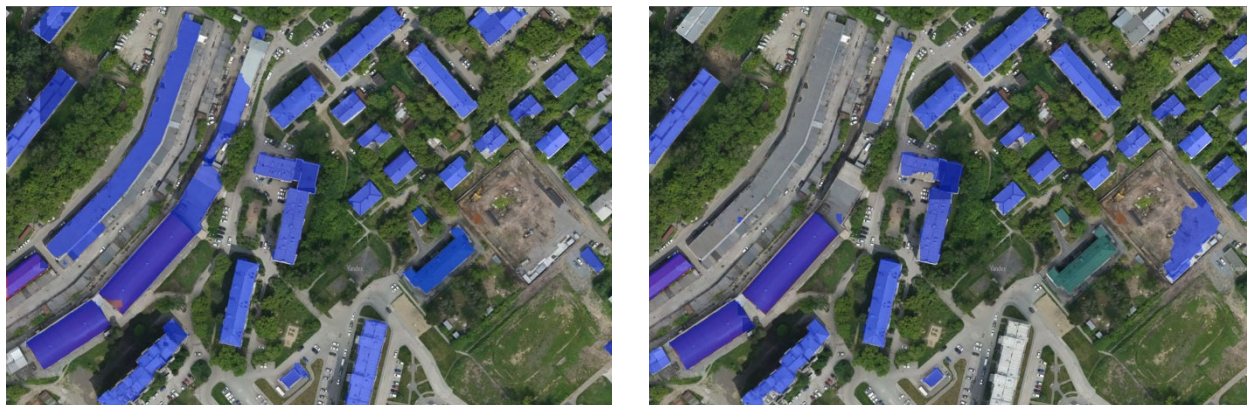


Рис. 3. Результаты работы модели, обученной двумя подходами (слева – предобученная модель, справа – модель, обученная «с нуля»)

Алгоритм автоматизации распознавания объектов

Распознавание объектов на космических снимках можно автоматизировать следующим образом:

- на вход подается космический снимок;

- в зависимости от указанной пользователем расчетной высоты обзора на снимке, он делится на изображения разрешением 1024x1024;
- изображения обрабатываются нейросетью и на выходе получается растровая маска для каждого объекта.

Полученную бинарную маску можно использовать для автоматизации оцифровки зданий, для этого ее можно преобразовать в векторный формат с помощью алгоритмов компьютерного зрения с учетом угла съемки.

Результаты

Таблица 1

Результаты обучения

Модель yolo v11s	Box				Mask			
	P	R	mAP50	mAP50-95	P	R	mAP50	mAP50-95
Обученная «с нуля»	0,805	0,639	0,72	0,448	0,8	0,643	0,719	0,471
Предобученная	0,813	0,75	0,816	0,639	0,86	0,718	0,814	0,617

Заключение

В рамках данной работы была рассмотрена задача автоматизации распознавания объектов на космических снимках, собран датасет, в котором размечены крыши зданий на спутниковых снимках, определен наилучший подход к обучению модели yolo v11 на небольшом датасете.

Экспериментально установлено что наилучшим подходом в данном случае является обучение предобученной модели. Для дальнейшего исследования планируется обучить данную модель на крупном датасете (от 10000 изображений) с применением двух рассмотренных подходов, чтобы более точно интерпретировать результаты эксперимента.

Также был разработан алгоритм автоматизации распознавания объектов, который можно использовать для оцифровки зданий и создания цифровых карт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архипов, В. О. Обучение нейросети для поиска людей по фотоснимкам, полученным с БПЛА / В. О. Архипов, А. А. Шарапов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 7, № 1. – С. 29-34. – EDN PXEMPJ. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_69212979_44018838.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Белякова, А. Ю. Решение задачи распознавания объектов и инцидентов на фотоматериалах, полученных с беспилотных летательных аппаратов с использованием методов глубокого обучения / А. Ю. Белякова, Ю. Д. Беляков, П. С. Замятин // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5(77). – С. 210-218. – EDN ZVCEHJ. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46275854_96311013.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

3. Ваганов, А. В. Алгоритмы обработки изображений и распознавания объектов животного мира на фотоснимках фотовидеорегистраторов методами машинного обучения / А. В. Ваганов, К. С. Печененко, Л. А. Хворова // Известия Алтайского государственного университета. – 2024. – № 1(135). – С. 89-94. – DOI 10.14258/izvasu(2024)1-12. – EDN PBBBLN. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_67347961_40912454.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
4. Ваньков, Е. Э. Алгоритмы машинного обучения для решения задач распознавания / Е. Э. Ваньков, И. К. Радыгин // Мавлютовские чтения : Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Уфа, 25–27 октября 2022 года. Том 5. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 1099-1109. – EDN LSTMUV. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50072969_82747018.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. Войтов, Д. Ю. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения / Д. Ю. Войтов, С. Б. Васильев, Д. В. Кормилицын // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 60-66. – DOI 10.18698/2542-1468-2023-1-60-66. – EDN PXEBDF. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50188350_40404336.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
6. Гарифуллин, Н. Б. Нейросетевые методы обработки изображений в компьютерной графике / Н. Б. Гарифуллин, В. Л. Литвинов // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – 2024. – Т. 1. – С. 13-15. – EDN NXWDID. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_67959860_87708718.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
7. Использование нейросети для выделения легких на рентгеновских изображениях / Р. Ш. Минязев, А. А. Румянцев, А. А. Баев, Т. Д. Баева // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2019. – Т. 83, № 12. – С. 1655-1658. – DOI 10.1134/S0367676519120159. – EDN UXFRAZ. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41348118_48368050.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
8. Как превратить спутниковые снимки в карты. Компьютерное зрение в Яндексе. URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/431108/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: свободный.
9. Каракулов, И. В. Влияние размеров объекта обучающей выборки на качество сегментации методами искусственного интеллекта / И. В. Каракулов, А. В. Ключев // Прикладная математика и вопросы управления. – 2018. – № 3. – С. 89-99. – DOI 10.15593/2499-9873/2018.3.06. – EDN YLLCBV. URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
10. Л.В. Семененко, Е.Н. Кочик А.М. Сорока, В.В. Шкабара. Распознавание объектов на спутниковых снимках с использованием нейронных сетей. URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/315234/1/19-22.pdf> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: свободный.
11. Ларионов, Р. В. Использование методов машинного обучения для детектирования объектов на данных дистанционного зондирования земной поверхности / Р. В. Ларионов // Физика, техника и технология сложных систем : Тезисы докладов 3-й Всероссийской с международным участием молодежной научно-практической конференции, Ярославль, 22–30 апреля 2021 года. – Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2024. – С. 170-171. – EDN FVUSNY. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_67976510_53630502.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
12. Нейросетевые технологии поиска целевых объектов на снимках дистанционного зондирования Земли / Н. С. Абрамов, А. А. Талалаев, В. П. Фраленко [и др.] // Сборник трудов ИТНТ-2019, Самара, 21–24 мая 2019 года. Том 2. – Самара: Новая техника, 2019. – С. 26-33. – EDN NBZYZH. URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/Neirosetevye->

tehnologii-poiska-celevykh-obektov-na-snimkah-distancionnogo-zondirovaniya-Zemli-76225/1/paper5.pdf (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

13. Обучение нейронной сети обнаружению людей на аэроснимках. URL: <https://habr.com/ru/articles/754338/> (дата обращения: 15.12.2024). Режим доступа: свободный.

14. Поиск пропавших людей на снимках лесного массива, полученных с помощью БПЛА или ещё один разбор задачи Цифрового Прорыва. URL: <https://habr.com/ru/articles/699076/> (дата обращения: 15.12.2024). Режим доступа: свободный.

15. Проект Lastmus: как компьютерное зрение помогает спасти потерявшихся людей. URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/483616/> (дата обращения: 15.12.2024). Режим доступа: свободный.

16. Распознавание образов с помощью искусственного интеллекта. URL: <https://habr.com/ru/articles/709432/> (дата обращения: 15.12.2024). Режим доступа: свободный.

17. Яндекс Карты. URL: <https://yandex.ru/maps/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: свободный.

18. EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

19. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

20. Google Maps. URL: <https://maps.google.ru/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: свободный.

21. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

22. Sentinel Hub. URL: <https://www.sentinel-hub.com/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

23. Ultralytics Docs. URL: <https://docs.ultralytics.com/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: свободный.

24. Roboflow. URL: <https://app.roboflow.com/> (Дата обращения 11.05.2025). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

© В. О. Архипов, 2025

Д. П. Бабкина¹✉, Г. В. Симонова¹, П. Н. Бурдин²

Анализ методов формирования торцов сердечника магнитопровода

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: D.P. Babkina@inp.nsk.su

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы формирования торцов сердечника на примере дипольного магнита. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания синхротронного излучения с минимальным диаметром сечением пучка. Анализ проводился на основе требований конструкторской документации с учетом допустимой погрешности геометрических параметров сердечника магнитопровода. Результаты работы предназначены для выбора необходимого метода формирования торцов сердечника магнита марки BDA для магнитной системы накопительного кольца Сибирского кольцевого источника фотонов (СКИФ). В основной части приведено описание рассматриваемых методов, рассмотрен производственный цикл изготовления сердечников для дипольных магнитов. В результате проведенных исследований обоснован выбор метода формирования торцов сердечника дипольных магнитов марки BDA. Показано, что оптимальным решением для достижения требований конструкторской документации является механический метод последующей обработки.

Ключевые слова: сердечник, пластина, торцы, дипольный магнит, измерение, обработка, пакет

D. P. Babkina¹✉, G. V. Simonova¹, P. N. Burdin²

Analysis of methods for forming the ends of a magnetic core.

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²Institute of Nuclear Physics named after G.I. Budker, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: D.P. Babkina@inp.nsk.su

Abstract. This article discusses the methods for forming the ends of the core using a dipole magnet as an example. The relevance of this work is due to the need to create synchrotron radiation with a minimum beam cross-section diameter. The analysis was carried out based on the requirements of the design documentation, taking into account the permissible error in the geometric parameters of the magnetic circuit core. The results of the work are intended to select the required method for forming the ends of the BDA magnet core for the magnetic system of the storage ring of the Siberian Ring Photon Source (SKIF). The main part describes the methods under consideration, considers the production cycle for manufacturing cores for dipole magnets. As a result of the studies, the choice of the method for forming the ends of the BDA dipole magnet core is substantiated. It is shown that the optimal solution for achieving the requirements of the design documentation is a mechanical method of subsequent processing.

Keywords: core, plate, ends, dipole magnet, measurement, processing, package

Введение

Повышение требований, предъявляемых к физическим параметрам научного оборудования, и как следствие изменение точностных, геометрических и весогабаритных характеристик требует динамичного изменения технологии изготовления узлов и деталей, входящих в состав изделия, применения новых материалов, используемых при производстве, совершенствования стратегии испытания и контроля на всех этапах производства.

Сибирский кольцевой источник фотонов (СКИФ) – это уникальный научный инструмент, который позволит проводить передовые исследования в различных областях науки с помощью синхротронного излучения.

Актуальность анализа методов формирования торцов сердечников дипольных магнитов для СКИФ обусловлена необходимостью обеспечения высокой точности и стабильности магнитного поля, что критически важно для эффективной работы всего комплекса.

Для создания излучения с заданными характеристиками необходимо сформировать минимальный размер пучка, что обеспечивается параметрами поля, которое формируется благодаря магнитной структуре ускорителя, включающей дипольные магниты. Основная функция таких магнитов – управлять траекторией заряженных частиц, в данном случае электронов.

Важной задачей предприятия, производящего такое оборудование, является выбор определенного технологического процесса. Правильный выбор позволит снизить выпуск дефектной продукции, модернизировать производственную систему, уменьшить длительность производственного цикла, снизить затраты [1–7].

Методы и материалы

Дипольные магниты трудоемки в проектировании и изготовлении. Актуальным вопросом остаётся формирование торцов сердечника магнитопровода. Сердечник состоит из набора склеенных между собой пластин. Каждая пластина имеет отличающуюся толщину из-за нанесенного на нее клеевого покрытия. Склеивание проходит под давлением в стапеле, и торцы получаются не параллельными. Для того, чтобы достичь требований конструкторской документации к торцам сердечника, используются два метода последующей обработки: слесарный и механический [8–10].

Дипольный магнит состоит из верхней и нижней половин сердечника с закрепленными на них катушками. На первом этапе изготовления сердечника выполняется контроль пластин на наличие дефектов. Затем поддоны с пластинами располагаются согласно схеме шихтовки, для каждого сердечника она индивидуальна. Пакет состоит из 25 листов. Каждая половина сердечника собирается из штампованных пластин толщиной 1 мм в специально изготовленном точном стапеле.

Следующим этапом является шихтовка сердечника. На этом этапе контролируется зазор между базовыми поверхностями сердечника и базовыми поверхностями стапеля. Зазор должен быть не более 0,02 мм. Через каждые 500 мм шихтовки производится опрессовка сердечника усилием 20 тонн.

Размер общей длины сердечника составляет $1200 \pm 0,2$ мм. Отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей сердечника относительно базы D должно быть не более 0,2 мм, а шероховатость обработки торцевых поверхностей сердечника Ra3,2 (рис 1).

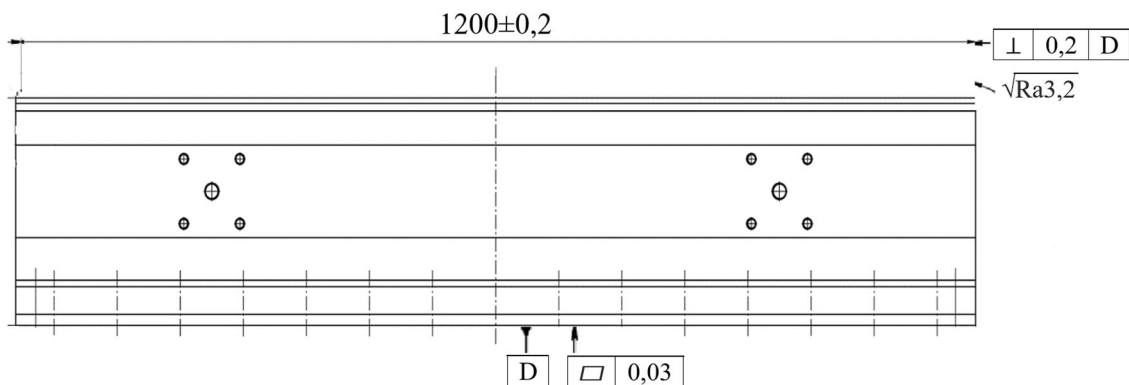


Рис. 1. Сердечник дипольного магнита марки BDA

Если размер после опрессовки получается меньше, чем нужно, то добавляется нужное количество пластин, которые предварительно взвешиваются.

После подбора нужного количества пластин механическими воздействиями обеспечивается наилучшее прилегания базовых поверхностей к стапелю, затем весь сердечник опрессовывается усилием 40 тонн. После опрессовки выполняется контроль зазора между базовыми поверхностями сердечника и базовыми поверхностями стапеля. Зазор должен быть не более 0,02 мм. Длина измеряется в четырех противоположных точках торцов сердечника, пример таких измерений показан в табл. 1.

Таблица 1

№ сердечника	точка 1	точка 2	точка 3	точка 4
1	1209,5	1210,0	1210,0	1209,5
2	1209,7	1210,4	1210,2	1209,8
3	1209,5	1210,2	1210,1	1209,5
4	1209,8	1210,2	1210,1	1209,6
5	1209,8	1210,3	1210,3	1209,6
6	1209,7	1210,1	1210,2	1209,7

После сборки стапель с сердечником устанавливается в атмосферную печь. Пластины склеиваются (спекаются) путем плавления лакового покрытия по специальной программе объемного нагрева.

После завершения процесса спекания выполняется контроль геометрических размеров сердечника, результаты проверки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Контролируемый параметр	№ точки	№ сердечника					
		1	2	3	4	5	6
Длина сердечника, мм 1200±0,2	1	1204,8	1205,2	1205,2	1205,6	1204,6	1204,5
	2	1204,2	1204,6	1204,5	1205,1	1205,2	1205,4
	3	1204,9	1204,5	1204,4	1204,6	1204,5	1204,6
	4	1204,8	1204,3	1204,3	1204,5	1204,4	1204,3
Перпендикулярность относительно базы, мм		0,30	0,30	0,35	0,25	0,30	0,45

Измерения перпендикулярности относительно базы проводились на координатно-измерительной машине Contura G2 10/21/6 с измерительным датчиком VAST XHT [11].

Результаты

Выбор метода обработки торца зависит от допустимой погрешности, длины спекаемого сердечника и толщины пластины, а также типа магнита. Для выбора оптимального варианта проводилось сравнение двух методов обработки.

Обработка торцов сердечников № 1-3 осуществлялась механическим методом. Для этого сердечник устанавливался на расточной станок и торцы сердечника обрабатывались механически с двух сторон в размер 1200±0,2 мм.

Обработка торцов сердечников № 4-6 осуществлялась слесарным методом. Применение данного метода подразумевает снятие лишних пластин с торца сердечника. Для достижения требуемых размеров специально изготовленным острозаточенным инструментом формируется зазор между пластинами. После образования зазора пластина скручивается специальным инструментом, который постепенно отделяет её от торца сердечника.

Результаты контроля геометрических параметров полученных сердечников представлены в табл. 3. Представленные результаты позволяют оценить соответствие установленным требованиям для образцов, полученных разными методами.

Механическая обработка обеспечила более стабильные размеры с меньшим отклонением от заданного значения, однако она требует специализированного оборудования и более длительного времени обработки. Слесарный метод не требует сложного оборудования, но характеризуется большей вариативностью результатов и зависимостью от квалификации исполнителя.

Таблица 3

Контролируемый параметр	№ сердечника					
	1	2	3	4	5	6
Длина сердечника L , мм $1200 \pm 0,2$	1200,00	1200,01	1200,00	1201,61	1200,60	1200,52
	1199,90	1200,00	1200,01	1201,15	1201,21	1201,45
	1200,01	1200,00	1999,85	1200,65	1200,50	1200,60
	1200,01	1200,00	1200,01	1200,50	1200,45	1200,31
Перпендикулярность относительно D , мм	0,05	0,01	0,01	0,23	0,31	0,46

Результаты сравнительного анализа методов формирования торцов сердечников представлены в табл. 4.

Таблица 4

Анализируемый метод	Количество изготовленных сердечников, шт	Количество несоответствующей продукции, шт	Время обработки сердечника, ч	Общее время обработки трех сердечников, ч
Механический	3	0	4	12
Слесарный	3	3	3	9

Выбор оптимального метода формирования торцов сердечников дипольных магнитов должен основываться на комплексном анализе требований к точности, экономической целесообразности и доступности необходимого оборудования и персонала.

Исходя из анализа данных табл. 3, можно сделать вывод, что при слесарном методе были выявлены несоответствия требованиям конструкторской документации для сердечников 4 – 6, а именно, нет возможности достичь требуемого размера. Если удалить ещё один лист, то размер станет меньше предельно допустимого размера. Чтобы достичь необходимой точности, необходимо провести повторную обработку с использованием механического метода, затраты времени на обработку возрастут на 12 ч. Из-за необходимости точных расчетных данных усадки пластин при спекании магнитопровода увеличивается риск выпуска дефектной продукции. Необходимо отметить, что для данного метода обработки необходимо наличие высококвалифицированных специалистов для качественного и эффективного производства научного оборудования.

Положительным моментом в слесарном методе является отсутствие станка для обработки торцов магнитопровода. Следует отметить, что на обработку слесарным методом затрачивается меньше времени, чем механическим.

Исходя из данных табл. 4, можно сделать вывод, что для формирования торцов сердечника более оптимальным является механический метод последующей обработки.

Заключение

На основании проведенных экспериментов и анализа полученных результатов было выявлено, что для сердечника дипольного магнита марки BDA оптимальным является метод механической обработки. Применение указанного метода позволяет снизить выпуск дефектной продукции, и, следовательно, снизить затраты на производство изделий.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что слесарная обработка является более простым методом, уменьшает длительность производственного цикла, но не позволяет достичь нужных параметров магнитных элементов.

В результате проведенных исследований было показано, что оптимальным решением для формирования торцов сердечника магнитопровода марки BDA является метод механической обработки. В соответствие с этим результатом был изменен процесс обработки торцов магнитов и соответствующие изменения внесены в технологическую документацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шторм В. В. Приборы и методы линейных измерений при монтаже оборудования ускорителей: дис. канд. тех. наук. М., 1978. – С. 41–57.
2. Дипольный магнит – Dipole magnet – other.wiki [Электронный ресурс]. URL: https://ru.other.wiki/wiki/Dipole_magnet (дата обращения: 13.05.2021).
3. Рябченко К. К., Старостенко А. А. Дипольные магниты с однородным полем проекта СКИФ // Сибирский физический журнал. 2023. № 18 (3). – С. 20–30.
4. Баранов Г. Н., Богомягков А. В., Левичев Е. Б., Синяткин С. В. Оптимизация магнитной структуры источника синхротронного излучения четвертого поколения СКИФ в Новосибирске // Сибирский физический журнал. 2020. № 15 (1). – С. 5–23.
5. Синяткин, С., Результаты магнитных измерений дипольных магнитов ускорителя NSLS-II / С. Синяткин, Г. Баранов, А. Батраков [и др.] // IPAC'13, Шанхай, 2013.
6. Косоголов И. И. Совершенствование метрологического надзора на производстве: учеб. пособие для вузов. СПб.: НИУ ИТМО; 2014. – 103 с.
7. Экономика организации (предприятия): учебное пособие/ Т. К. Руткаускас [и др.]; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Т. К. Руткаускас. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УМЦУПИ, 2018. – 260 с.
8. Кузнецова Н. М. Управление качеством продукции: учеб. пособие / Н. М. Кузнецова. – М. : Инфра-М, 2019. – С. 175–176.
9. Лифиц И. М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия: учеб. пособие – 9-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт; 2009. – 315 с. (Высшая школа)
10. Описание типа средств измерений. – Поверка измерительных приборов (технических средств) – Кто Поверит. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/90261-23.pdf?ysclid=lxgch97xdh295129234>
11. CONTURA G2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.uralinco-centr.ru/pdff/KIM/Contura%20G2%20Zeiss%20.pdf>

© Д. П. Бабкина, Г. В. Симонова, П. Н. Бурдин, 2025

К. А. Бендюков^{1✉}, Д. М. Никулин¹, Н. А. Митюшенко²

Разработка стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокон в процессе обработки

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Университет ИТМО, г Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: bkirja@mail.ru

Аннотация. Эффективность ввода оптического излучения в оптоволокно зависит не только от различных оптических и линзовых систем, но и от качества торцевых поверхностей оптоволокон. Различные торцевые дефекты увеличивают потери оптического излучения при вводе его в оптоволокно и дальнейшей передаче оптического сигнала на дальние расстояния. Контроль качества торцевых поверхностей после их шлифовки и полировки проводится с помощью оптических микроскопов и видеомикроскопов. При обнаружении дефектов оптоволокно возвращается на повторную полировку. Разрабатываемый стенд позволяет контролировать дефекты на торцах оптоволокон в процессе его шлифовки и полировки. Стенд также позволяет выводить изображение торца оптоволокон на экран монитора для последующего анализа количественных характеристик дефектов.

Ключевые слова: оптико-электронный стенд, оптоволокно, торцевая поверхность

K. A. Bendyukov^{1✉}, D. M. Nikulin¹, N. A. Mityushenko²

Development of a stand for monitoring the end surfaces of optical fiber during processing.

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation
e-mail: bkirja@mail.ru

Abstract. The efficiency of introducing optical radiation into an optical fiber depends not only on various optical and lens systems, but also on the quality of the end surfaces of the optical fiber. Various end defects increase the loss of optical radiation when it is introduced into the fiber and further transmission of the optical signal over long distances. Quality control of end surfaces is carried out using optical microscopes and video microscopes after their grinding and polishing. If defects are found, the fiber is returned for re-polishing. The developed stand allows you to control defects on the ends of the fiber during its grinding and polishing. The stand also allows you to display an image of the end of the fiber on the monitor screen for subsequent analysis due to the quantitative characteristics of defects.

Keywords: optoelectronic stand, optical fiber, end surface

Введение

Контроль качества торцевых поверхностей оптоволокон в процессе их полировки является актуальной задачей и позволит своевременно вносить изменения в технологический процесс полировки. Изображение торца оптоволокон бу-

дет выводится на экран монитора, что позволит не только качественно, но и количественно оценить его на дефекты.

Конструкция стенда предусматривает его использование на рабочем месте, на котором осуществляется полировка торцов оптоволокон.

Методы и материалы

Обоснование требований к оптической системе стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокон строится, опираясь на ГОСТ 11141-84 [1], который распространяется на оптические детали из стекла, кристаллов, ситаллов, полимерных материалов, оптической керамики, металлов и волоконно-оптические изделия. Для оценки оптических характеристик разрабатываемого оптико-электронного стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокон примем следующие значения параметров оптических компонентов:

- фокусное расстояние первой линзы системы $f'_1 = 50$ мм;
 - фокусное расстояние второй линзы системы $f'_2 = 100$ мм;
 - размер предмета $2y = 2,5$ мм – диаметр контролируемого волокна.
- Увеличение объектива системы β рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{f'_2}{f'_1} = \frac{100}{50} = 2^\times. \quad (1)$$

Размер полученного изображения рассчитывается по формуле:

$$2y' = 2y \times \beta_{1,2} = 2 \times 2,5 = 5 \text{ мм}. \quad (2)$$

Для контроля всей площади торца оптоволокон размер матрицы должен быть не менее полученного по формуле (2) изображения, чему удовлетворяет КМОП-матрица $\frac{1}{2}$ дюйма (размерами $6,4 \times 4,8$ мм) с максимальным разрешением 1920×1080 [2].

Зная данные параметры, рассчитаем размеры пикселя приемной матрицы по горизонтали и вертикали по формулам:

$$\delta' = \frac{\alpha'}{N_{\text{гор}}} = \frac{6,4}{1920} = 0,0033. \quad (3)$$

$$\delta' = \frac{b'}{N_{\text{верт}}} = \frac{4,8}{1080} = 0,0044. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) следует, что размер пикселя предлагаемой КМОП-матрицы равен $3,3 \times 4,4$ мкм. Разрешение стенда в плоскости торца оптоволокон рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{\delta'}{\beta} = \frac{0,0044}{2} = 0,0022 \text{ мм} = 2,2 \text{ мкм.} \quad (5)$$

Таким образом, на один пиксель приходится 2,2 мкм реального размера изображения. Оценочное разрешение разрабатываемого оптико-электронного стенда позволяет контролировать, как видно из табл. 1, дефекты по первому классу точности, соответствующие ГОСТ 11141-84.

Таблица 1

Класс чистоты	Царапины		Точки		Скопления дефектов	
	Ширина, мм, не более	Суммарная длина, мм, не более	Диаметр, мм, не более	Число, не более	Диаметр ограниченного участка, мм	Суммарная площадь царапин и точек, мм ² , не более
I	0,004	2,0×O _ø *	0,020	0,5×O _ø	1,0	0,004
II	0,006		0,050		1,2	0,006
III	0,010		0,100		2,0	0,020

* O_ø – световой диаметр

Структурная схема разрабатываемого стенда состоит из объектива, светоделительного блока, окуляра, приемной матрицы и дисплея для вывода информации. Стенд предусматривает в своей конструкции использование двух каналов наблюдения – визуального и цифрового. Цифровая информация выводится с помощью приемной матрицы и дисплея, на котором оператор сможет наблюдать торец оптоволокну для контроля дефектов, которые могут возникнуть в процессе обработки, а также измерять размер дефекта с помощью программного обеспечения. Наличие визуального канала наблюдения оставляет вариативность в выборе метода контроля, так как окуляр будет снабжен сеткой для измерения размеров (рис. 1).

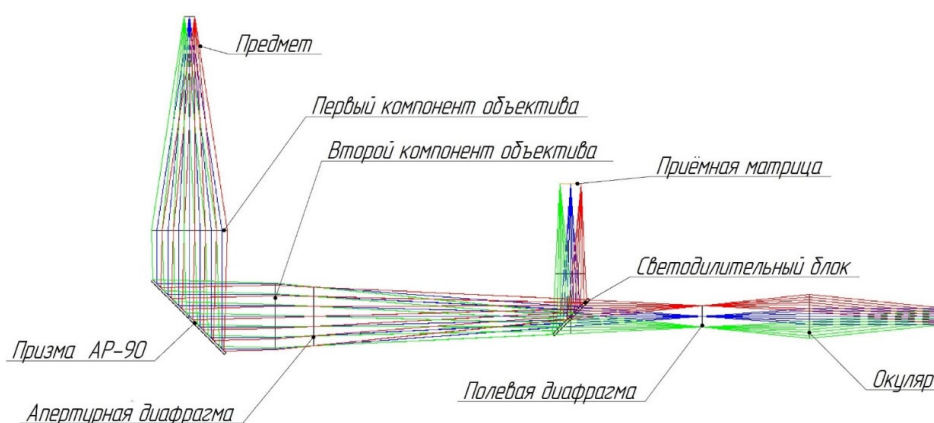


Рис. 1. Принципиальная схема разрабатываемого стенда

Далее описывается процесс разработки оптической системы, использованной для стенда. Она имеет следующие характеристики: $\beta=2^x$, линейное поле в пространстве предметов 2,5 мм, числовая апертура в пространстве предметов 0,15.

Объектив состоит из двух пар склеенных линз. Расчет каждой из линз проводился в программе ZEMAX.

Расчет проводился на минимум сферической aberrации, а также была исправлена кома.

Дополнительно был рассчитан окуляр. При синтезе окуляра основными aberrациями, которые необходимо исправить, были сферическая aberrация, кривизна поля и астигматизм (рис. 2).

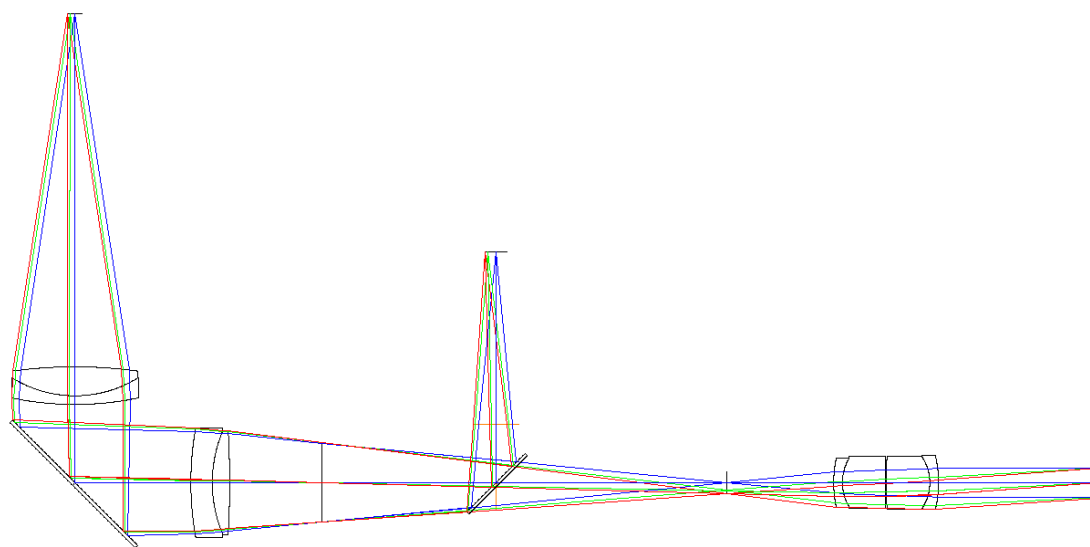


Рис. 2. Оптическая система разработанного стенда

Для проекционного канала достаточно получить необходимый радиус пятна рассеивания (рис. 3).

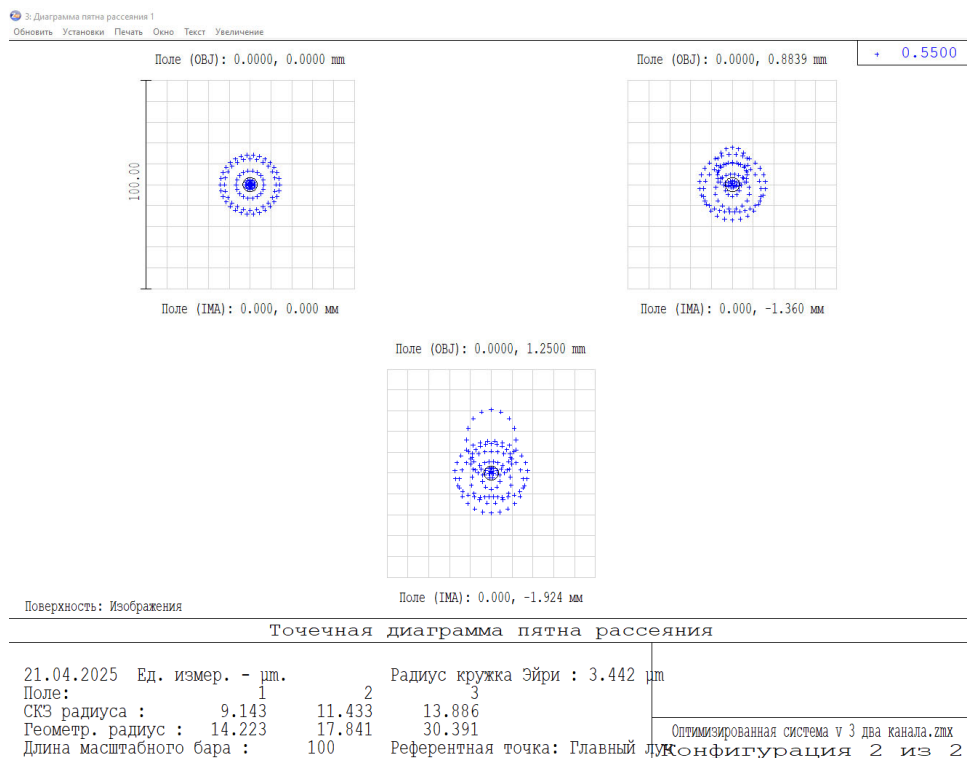


Рис. 3. Диаграмма пятна рассеивания

Среднеквадратичное значение радиуса пятна рассеивания составляет 9 мкм. Для наблюдательного канала была исправлена кривизна поля и астигматизм (рис. 4).

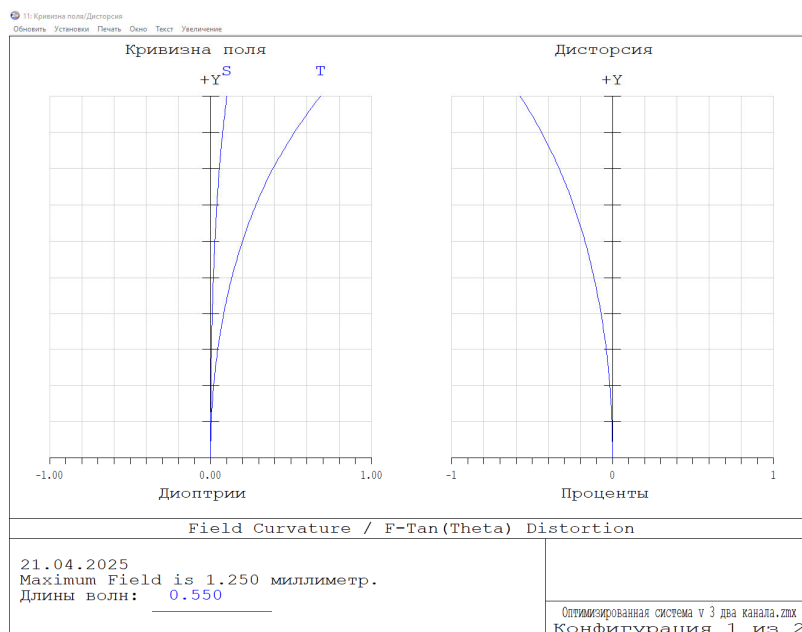


Рис. 4. Кривизна и астигматизм

Значение кривизны поля для сагиттального и меридионального сечений со-

ставляет 0,1 и 0,68 дптр соответственно, а значение астигматизма составляет 0,6 дптр. Это является отличным [3] качеством изображения.

Параллельное проектирование механической части

В процессе расчета оптической системы разрабатываемого стенда в программе «Компас 3D» параллельно конструировалась его 3D модель (рис. 5).

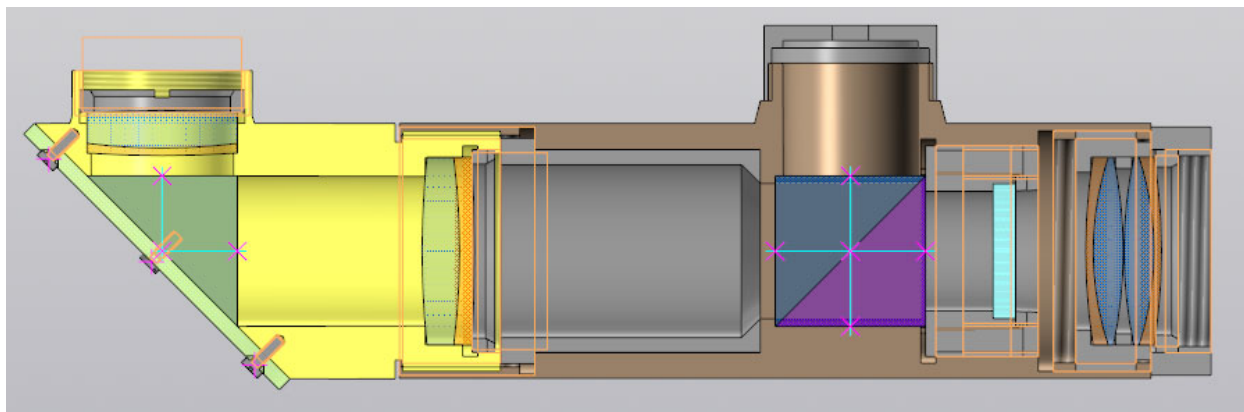


Рис. 5. 3D модель конструкции разрабатываемого стенда

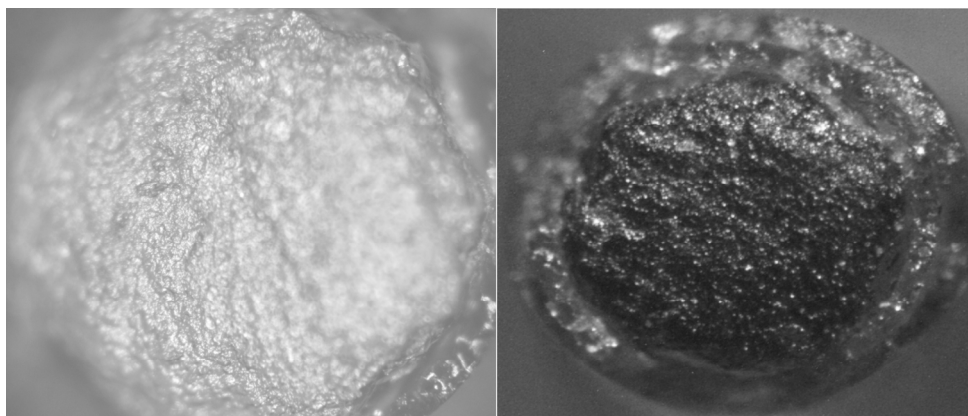
Это дает возможность существенно сократить процесс создания конструкторской документации и снижает вероятность ошибок при ее разработке. Основным инструментом параллельного проектирования являются переменные [4]. При проектировании 3D модели использовались основные переменные параметры, среди которых: радиусы кривизны, толщины по оси, полные диаметры и расстояния между компонентами. Программа позволяет использовать переменные при конструировании оптической и механической составляющих разрабатываемого стенда. Перенос необходимых переменных осуществляется с помощью Excel.

При внесении переменных в программу [5] учитываются припуски на крепление оптических деталей в механическом корпусе согласно рекомендациям [6,7].

Для корректной работы с переменными была применена полная параметризация моделей. На основе параметризованной 3D модели оптической системы конструируются корпуса объектива, окуляра, проекционной системы, а также промежуточные кольца. При изменении какого-либо из параметров в таблице переменных автоматически происходит перестроение всех необходимых размеров, в частности, размеры промежуточных колец, длины корпусов. Апертурная диафрагма конструктивно включена в блок отдельной деталью. Для юстировки объектива предусматривается подрезка торцов оправ оптических блоков.

Результаты и обсуждение

Разработанный стенд позволяет контролировать торцевые поверхности оптоволоконна (рис. 6).



а) оптоволокно до обработки б) промежуточный результат шлифовки торца

Рис. 6. Торец оптоволокна: а) оптоволокно до обработки; б) промежуточный результат шлифовки торца

Получаемые изображения позволяют производить контроль оптоволокна на любом из этапов обработки торцевых поверхностей.

Заключение

Авторы выражают надежду, что результаты разработки стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокна представляют интерес для технологов при обработке оптоволокна.

Описанный в статье метод синтеза стартовой системы оптической системы стенда в совокупности с параллельным проектированием механики позволяет в короткие сроки осуществлять кастомизацию под конкретные технические требования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 11141-84. Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля: национальный стандарт: издание официальное: утвержден и введен действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 6 апреля 1984 г. N 121: введен впервые: дата введения 1984-04-06. – Электронный фонд правовых и нормативных документов «Кодекс».
2. Каталог датчиков // npk-photonica. – URL: https://npk-photonica.ru/upload/pdf/Фото-ника_Датчики_2021.pdf.
3. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем. – М.: Логос, 2000. – 586 с.
4. Михайлов И.О. CAD-технологии. Проектирование технической системы методом «сверху вниз»: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 204 с.
5. Учебная версия программы твердотельного моделирования Компас 3D // ascon.ru URL: <https://edu.ascon.ru/main/download/cab/>.
6. Плотников В.С. Расчет и конструирование оптико-механических приборов: учебник. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
7. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов: уч. пособие. - СПб.: Политехника, 2007. – 579 с.

© К. А. Бендюков, Н. А. Митюшенко, Д. М. Никулин, 2025

О. И. Болкунова¹✉

Роль и значение премии за риск при расчете ставки дисконтирования в оценке стоимости бизнеса

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ok.bolkunova2014@yandex.ru

Аннотация. Оценка стоимости бизнеса является важной задачей, которая требует применение различных подходов и качественного учета факторов риска. Одной из составляющих расчета стоимости компании является премия за риск, она играет важную роль при расчете ставки дисконтирования в доходном подходе. В данном исследовании анализирует сущность понятия премии за риск, ее роль и значение в расчете ставки дисконтирования, а также рассматриваются методы с помощью, которых рассчитывается ставка дисконтирования. Уровень премии за риск дает представление о степени неопределенности и возможных потерях для компании. В результате правильной оценки рисков бизнеса данная премия позволит определить более точные результаты оценки стоимости бизнеса, что крайне важно для принятия обоснованных решений о продаже или инвестировании.

Ключевые слова: оценка стоимости бизнеса, систематические риски, несистематические риски, премия за риски, ставка дисконтирования

О. I. Bolkunova¹✉

Role and importance of the risk premium in calculating the discount rate in assessing the value of a business

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ok.bolkunova2014@yandex.ru

Abstract. Business valuation is an important task that requires the use of various approaches and high-quality consideration of risk factors. One of the components of calculating the value of a company is the risk premium, it plays an important role in calculating the discount rate in the income approach. This study analyzes the essence of the concept of a risk premium, its role and significance in calculating the discount rate, and also examines the methods by which the discount rate is calculated. The level of the risk premium gives an indication of the degree of uncertainty and possible losses for the company. As a result of a correct assessment of business risks, this premium will allow determining more accurate results of the business valuation, which is extremely important for making informed decisions about selling or investing.

Keywords: business valuation, systematic risks, unsystematic risks, risk premium, discount rate

Введение

С развитием рыночных отношений и самого рынка, оценка стоимости бизнеса становится все более востребованной как для владельцев компании, так и для инвесторов.

Оценка стоимости бизнеса является сложным и трудозатратным процессом, который включает в себя три подхода: доходный, затратный и сравнительный.

При расчете доходным подходом использует два метода: метод прямой капитализации и метод дисконтирования денежных потоков, где и используется ставка дисконтирования.

С помощью данной ставки производится перерасчет будущих денежных потоков бизнеса в их текущую стоимость, или, другими словами, оценка того сколько будущие доходы компании стоят на данный момент.

Ставка дисконтирования складывается из безрисковой доходности и премии за риск, которая должна соответствовать уровню риска анализируемой компании.

Риски бизнеса постоянно меняются в зависимости от ряда факторов: состояние экономики, новые технологии, изменения в законах, налогообложении и политической ситуации в стране, а также от социальных факторов. Постепенно риски усложняются в своей структуре и затрагивают все больше аспектов работы компании. Из-за этого становится трудно произвести объективную оценку стоимости бизнеса. Предполагается, что чем больше факторов угрожает стабильности бизнеса, тем выше будет премия за риск.

Поэтому данная тема актуальна для оценщиков и финансовых аналитиков, использующих в своих расчетах доходный подход. Понимание и правильная оценка премии за риск становится необходимостью для точного расчета стоимости компании

Цель данной научной работы состоит в том, чтобы проанализировать, а также определить роль и значение премии за риск в расчете ставки дисконтирования при оценке стоимости бизнеса. В данной статье риски рассматриваются с точки зрения возможной потери или ущерба.

Методы и материалы

Оценка стоимости бизнеса – это процесс определения финансовой стоимости бизнеса и его активов. Она используется для таких целей, как продажа бизнеса, его слияние или поглощение, ликвидация, инвестирование, налогообложение и судебных процессов.

В данном исследовании будет рассмотрена одна из главных составляющих расчета стоимости компании доходным подходом методом дисконтирования денежных потоков – это ставка дисконтирования.

Чихирников А. М. полагал, что «...ставка дисконтирования – коэффициент пересчета, используемый для приведения будущего денежного потока в текущую стоимость на дату оценки, отражающий ожидаемую или требуемую инвестором (покупателем предприятия) ставку дохода» [1].

Ставка дисконтирования формируется из суммы ставки по безрисковой доходности и премии за риск.

В состав премии за риск включаются различные виды рисков, которым подвержен оцениваемый бизнес. Теоретически, они делятся на две группы рисков: систематические и несистематические (рис. 1).

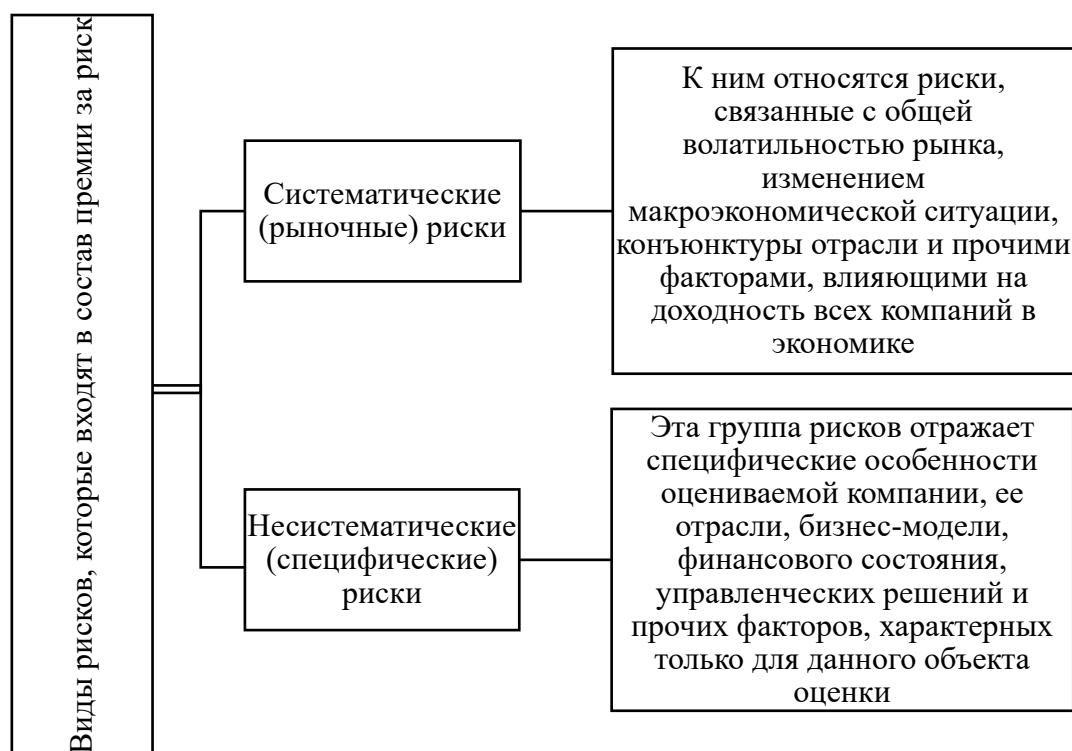


Рис. 1 Виды рисков, которые учитываются в премии за риск

Понимание различий данных видов рисков позволяет оценщику точно и объективно определить премию за риск, тем самым сделать расчеты более понятными для заказчика или инвестора, избежать ошибок в прогнозах или двойном учете рисков. Детальная работа с рисками делает оценку более реалистичной. Чем точнее оценщик или финансовый аналитик их классифицирует и учитывает, тем достовернее получится итоговая стоимость бизнеса.

Результаты

Чтобы подробно изучить премию за риск, проанализируем основные методы расчета ставки дисконтирования, которые учитывают данный показатель.

Рассмотрим наиболее популярный в отечественной практике метод расчета ставки дисконтирования – метод кумулятивного построения.

«Кумулятивный метод расчета ставки дисконтирования – это метод, при котором добавляют к безрисковой ставке поправки на различные виды риска» [2].

Первым элементом в формуле является безрисковая ставка, в качестве которой берут ставку по вкладам в банках, доходности облигаций федерального займа. Другой составляющей будут являться различные премии за риск, которые определяются экспертным методом.

Согласно одной из работ Полянской С. Г.: «Безрисковая ставка представляет собой альтернативную ставку дохода, которая характеризуется практическим отсутствием риска и высокой степенью ликвидности» [2].

Рассмотрим формулу расчета ставки дисконтирования с помощью кумулятивного подхода:

$$R = R_f + \sum L_i, \quad (1)$$

где R_f – безрисковая ставка дохода; L_i – премии за различные виды несистематического риска.

На практике, чаще всего, оценщики используют следующие премии за риск при расчете ставки дисконтирования (рис. 2).



Рис. 2. Виды премий за риск

Основа данного метода – это экспертные оценки степени влияния, того или иного риска на деятельность компании. Диапазон такой оценки обычно варьируется от 0 % до 5 %. Определяемое методом значение ставки дисконтирования индивидуально и субъективно и, возможно, будет отличаться у разных оценщиков.

Следующим методом для рассмотрения будет – модель оценки капитальных активов (САМР). Она позволяет учесть премии за риск, которые важны при оценке компаний в нестабильных или развивающихся секторах через β коэффициент и рыночную премию за риск.

Более подробно рассмотрим базовую формулу модели САМР:

$$i = R + \beta \times (R_m - R), \quad (2)$$

где β – коэффициент, указывающий на меру относительного систематического риска инвестирования в оцениваемый бизнес по сравнению с риском капиталовложений в любой среднерисковый бизнес; R_m – среднерыночная доходность с рубля инвестиций на фондовом рынке; $R_m - R$ – рыночная премия за вложения в рискованный инвестиционный актив.

В данной формуле рыночная премия за риск определяется как разница среднерыночной нормы доходности и ставки дохода по безрисковым вложениям.

Также используется дополненная различными рисками формула расчета данной ставки:

$$i = R + \beta \times (R_m - R) + S_1 + S_2 + C_{\text{стр}}, \quad (3)$$

где S_1 – премия для малых предприятий; S_2 – премия за риск, характерный для отдельной компании; C – страновой риск.

Определение размера премии за риск с помощью модели САМР и метода кумулятивного построения позволяет более точно учитывать риски, присущие оцениваемому бизнесу. Метод оценки капитальных активов дает объективную рыночную оценку стоимости бизнеса за счет использования рыночных данных, но не учитывает индивидуальных особенностей бизнеса (специфические риски). Метод кумулятивного построения более гибким и позволяет учесть как систематические, так и несистематические виды рисков.

Обсуждение

Оценка размера премии за риск играет важную роль в получении достоверных результатов оценки стоимости бизнеса (предприятия), так как на прямую влияет на размер ставки дисконтирования. Занижение или завышение данного показателя может привести к искажению итоговой стоимости компании в целом.

Важно учитывать, что премия за риск не является константой, а может изменяться в зависимости от различных факторов: изменения рыночной конъюнктуры, уменьшения или увеличения влияния рисков, на конкретную отрасль компании, а также изменения в политике и нормативно-законодательных актах страны, на территории которой расположен оцениваемый бизнес. Поэтому так важно оценщику отслеживать динамику премии за риск, методики ее расчета и в соответствии с этим – корректировать ставку дисконтирования.

Премия за риск имеет существенное значение в оценке стоимости бизнеса, потому как:

- влияет на уровень ставки дисконтирования, что, в свою очередь, сказывается на конечной стоимости компании. Чем выше премия за риск, тем выше ставка дисконтирования и ниже стоимость бизнеса;
- отражает рисковую составляющую компании;

- позволяет учитывать изменения рыночной ситуации и динамику рисков в процессе оценки, что повышает получение адекватных результатов;
- служит важным инструментом управления рисками при принятии управленческих решений относительно оцениваемого бизнеса.

В данное исследование показывает, что премия за риск может напрямую влиять на стоимость компании через ставку дисконтирования. Ее размер динамичен и зависит от ряда факторов, поэтому требует корректного учета рисков.

Заключение

Роль и значение премии за риск в ставке дисконтирования при оценке стоимости предприятия заключается в том, что она учитывает, как систематические, так и несистематические риски, связанные с деятельностью оцениваемой компании.

При оценке стоимости предприятия премия за риск добавляется к безрисковой части ставки дисконтирования. В данном исследовании были рассмотрены два метода расчета премии за риск в ставке дисконтирования: кумулятивный метод и метод оценки капитальных активов (CAPM).

Метод кумулятивного построения позволяет гибко учитывать разнообразные риски компании, но в большей степени их учет зависит от субъективного мнения оценщика или финансового аналитика. А модель CAPM основана на рыночных данных, что обеспечивает математически точный расчет ставки дисконтирования, но не всегда отражает индивидуальные особенности (специфические риски) бизнеса.

Учет премии за риск позволяет более точно определить результат дисконтирования. Высокая премия за риск увеличивает ставку дисконтирования, что снижает стоимость предприятия, так как при его оценке учитывает что все возможные потери, связанные как с внешними, так и с внутренними факторами деятельности предприятия.

Понимание характера и точная оценка премии за риск дает обоснованный расчет ставки дисконтирования, что важно для определения адекватной стоимости бизнеса.

Дальнейшее исследование данной темы может способствовать углублению знаний о механизмах расчета ставки дисконтирования и улучшению инструментов финансового анализа в столь изменчивой рыночной экономике страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чихирников А. М. Определение ставки дисконтирования методом кумулятивного построения // АНИ: экономика и управление. – 2015. – №3 (12). – С. 86–90.
2. Полянская С. Г. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие – Омск : ОмГТУ, 2023. – 164 с.
3. Борискина К. Н., Агабалаева Н. А. Обоснование премий за риск при построении ставки дисконтирования кумулятивным методом: подходы и методы // Пермский финансовый журнал. – 2020. – № 1. – С. 117–140.

4. Малюгин А. Н., Одинцова А. В., Денисенко Е. Б. Специфика практического расчета ставки дисконтирования в процессе оценки бизнеса // Вестник КузГТУ. – 2004. – №3. – С. 108-110.
5. Щербакова Н. А. Управление стоимостью бизнеса : учебное пособие – Новосибирск : НГТУ, 2019. – 95 с.

© О. И. Болкунова, 2025

К. В. Бондаренко¹✉

Гиперспектральные приборы, тенденции и перспективы развития

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: banderars001@gmail.com

Аннотация. Гиперспектральные сенсоры революционизируют методы изучения земных покровов, обеспечивая беспрецедентную детализацию спектральных характеристик объектов. В представленном исследовании проведен комплексный анализ современных гиперспектральных технологий, включающий, рассмотрение физических принципов работы датчиков различных типов, критическую оценку их возможностей в прикладных задачах, мониторинг состояния окружающей среды, разведку полезных ископаемых, управление природными ресурсами. Особый акцент сделан на сравнительном анализе технических параметров современных гиперспектральных камер (SOC710VP, Headwall Nano-Hyperspec, Specim FX и др.) с указанием их эксплуатационных характеристик. Подробно обсуждаются ключевые технологические ограничения, перспективные направления развития, практические аспекты применения в российских климатических условиях.

Ключевые слова: гиперспектральная визуализация, методы дистанционного зондирования, геологоразведка, эко диагностика, спектрометрический анализ, БПЛА-носители

К. В. Bondarenko¹✉

Hyperspectral instruments, trends and development prospects

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: banderars001@gmail.com

Abstract. Hyperspectral sensors are revolutionizing Earth observation methods by providing unprecedented detail in the spectral characteristics of objects. This study presents a comprehensive analysis of modern hyperspectral technologies, including: a detailed examination of the physical operating principles of various sensor types, a critical assessment of their capabilities in applied tasks, such as environmental monitoring, mineral exploration, and natural resource management. Special emphasis is placed on a comparative analysis of the technical parameters of state-of-the-art hyperspectral cameras (e.g., SOC710VP, Headwall Nano-Hyperspec, Specim FX), with a focus on their operational performance. Key technological limitations, future development trends, and practical aspects of deployment in Russian climatic conditions are discussed in detail.

Keywords: hyperspectral imaging, remote sensing methods, geological exploration, ecological diagnostics, spectrometric analysis, UAV platforms

Введение

Современные гиперспектральные технологии совершили революцию в дистанционном зондировании Земли. В отличие от традиционных мультиспектральных систем, обеспечивающих 5-10 спектральных каналов, современные гиперспектральные датчики способны регистрировать от 200 до 300 узких спек-

тральных интервалов в видимых и ближних инфракрасных диапазонах. Такое высокое спектральное разрешение открывает уникальные возможности для детального анализа состава земной поверхности.

Как показали исследования последних лет, точность идентификации материалов по гиперспектральным данным достигает 85-92 % для большинства геологических объектов [1]. Однако эффективное использование этих технологий требует решения ряда проблемных вопросов:

- обработки больших массивов данных (один гиперспектральный снимок может занимать десятки гигабайт);
- необходимости специальных алгоритмов обработки;
- высокой стоимости оборудования и съемки.

В данной работе особое внимание уделено возможностям применения гиперспектральных технологий в условиях российских регионов, где особую актуальность приобретает мониторинг:

- состояния вечной мерзлоты в Арктике;
- последствий добычи полезных ископаемых;
- лесных экосистем Сибири.

Принципы работы гиперспектральных систем

Современные гиперспектральные датчики формируют спектральный куб данных, где каждому пикселю изображения соответствует полный спектр отражения в диапазоне 400-2500 нм. В зависимости от конструкции прибора различают три основных типа систем.

Линейные сканеры (whiskbroom) обеспечивают построчное сканирование местности с высоким пространственным разрешением (до 0,5-1 м при аэро-съемке). Основное преимущество – стабильность геометрических характеристик получаемых данных [2].

Пушбрумные системы (pushbroom) регистрируют целую строку изображения одновременно, что существенно (в 5-7 раз) увеличивает производительность съемки. Однако, как отмечают Артюхина и Котов [3], такие системы требуют тщательной радиометрической калибровки.

Фурье-спектрометры – обеспечивают наивысшее спектральное разрешение (до 0,1 нм), но их применение ограничено необходимостью сложной математической обработки интерферограмм [4].

Для обработки гиперспектральных данных сегодня активно применяются методы машинного обучения, в частности:

- алгоритмы линейной декомпозиции спектров [5];
- нейронные сети глубокого обучения;
- методы кластерного анализа.

Эти подходы позволяют автоматизировать процесс выделения спектральных сигнатур различных материалов с точностью до 85-90 % [6].

Обзор современных гиперспектральных камер для дистанционного зондирования

1. Камера SOC710VP (Surface Optics Corporation) (рис.1.). Данная модель отличается уникальной конструкцией, в которой перемещение сенсора происходит непосредственно в плоскости за объективом. Как показали испытания, такая схема обеспечивает стабильную работу без необходимости сложных расчетов скорости сканирования в зависимости от экспозиции. В отличие от аналогов, система не требует использования специализированных поворотных столов.

Основные характеристики:

- спектральный диапазон: 400-1000 нм (видимый и ближний ИК диапазоны);
- спектральное разрешение: 4,68 нм (216 спектральных каналов);
- пространственное разрешение: 640×480 пикселей.

Особенности:

- компактный корпус (320×140×140 мм);
- вес 3,2 кг;
- встроенная система охлаждения.

Преимущества:

- возможность интеграции с различными платформами (наземные установки, БПЛА);
- встроенная система калибровки;
- низкий уровень шумов (SNR> 500:1)



Рис. 1. Гиперспектральная камера SOC710VP

2. Система Headwall Nano-Hyperspec (рис. 2). Разработанная специально для аэрофотосъемки, эта камера сочетает высокое спектральное разрешение с минимальным весом.

Технические параметры:

- спектральный диапазон: 400-1000 нм (видимый и ближний ИК диапазон);
- спектральная чувствительность: 6 нм;
- спектральная ширина: 20 нм;
- скорость сканирования: до 120 линий/сек;
- вес: 520 грамм.



Рис. 2. Гиперспектральная камера Headwall Nano-Hyperspec

3. Гиперспектральные камеры SPECIM FX10 (рис.3) демонстрируют надежные и точные результаты классификации на основе химического состава цели. Неконтактный неразрушающий оптический метод предлагает 100% охват визуализации.

Камеры серии «SPECIM» — это первые гиперспектральные инструменты, разработанные специально для промышленного машинного зрения. Высокая частота камер соответствует требованиям к скорости в отрасли, а надежная структура и небольшой размер позволяют реализовать гибкую установку.

Характеристики базовой модели:

- спектральный диапазон: 400-1000 нм;
- спектральное разрешение: 5,5 нм;
- спектральная чувствительность: 2,7 нм.



Рис. 3. Гиперспектральная камера SPECIM FX10

4. Pika L (рис.4) — это легкая и компактная гиперспектральная камера. Она предназначена для видимого и ближнего инфракрасного спектрального диапазона это позволяет её использовать для воздушного удаленного зондирования.

Основные параметры:

- спектральный диапазон: 400-900 нм (видимый и ближний ИК диапазон);
- спектральное разрешение: 2,1 нм (240 каналов);
- пространственное разрешение: 1600×1200 пикселей;
- динамический диапазон: 12 бит.

Преимущества для научных задач:

- открытый SDK для разработки алгоритмов;
- поддержка различных интерфейсов подключения;
- модульная конструкция для модернизации.



Рис. 4. Гиперспектральная камера Resonon Pika L

5. Профессиональная система HySpex VNIR-1600 (рис.5). Разработанная норвежской компанией Norsk Elektro Optikk – эта камера устанавливает новые стандарты точности в гиперспектральной съемке. Лабораторные тесты подтверждают превосходство системы по параметру SNR (>800 :1) в своем классе.

Технические особенности:

- спектральный диапазон: 400-1000 нм (видимый и ближний ИК диапазоны);
- спектральное разрешение: 3,5 нм (1600 каналов);
- пространственное разрешение: до 1600 пикселей по линии сканирования;
- скорость сканирования: программируемая до 300 линий/сек.

Ключевые применения:

- геологическая разведка;
- экологический мониторинг;

- точное земледелие;
- военные задачи.

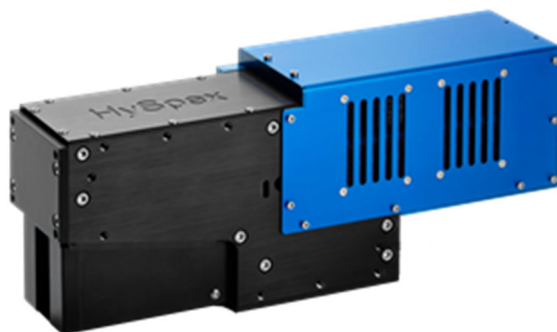


Рис. 5. Гиперспектральная камера HySpex VNIR-1600

Все рассмотренные системы прошли полевые испытания в различных климатических условиях и показали надежную работу при температурах от минус 20°C до плюс 50°C. Выбор конкретной модели должен основываться на требованиях конкретного проекта и учитывать такие факторы как:

- допустимое спектральное и пространственное разрешение;
- условия эксплуатации;
- бюджетные ограничения;
- необходимость обработки данных в реальном времени.

Сравнительная характеристика камер представлена в табл. 1

Таблица 1

Сравнительные характеристики

Модель	Спектральный диапазон, нм	Спектральное разрешение, нм	Пространственное разрешение, пиксели	Основные особенности
SOC710VP	400–1000	4,68	640×480	Компактность, универсальность
Headwall Nano-Hyperspec	400–1000	3,5	640	Легкий вес, адаптация для БПЛА
Specim FX10	400–1000	5,5	1024×1024	Высокая производительность, реальное время
Resonon Pika L	400–900	2,1	1600×1200	Низкая стоимость, доступность
HySpex VNIR-1600	400–1000	3,5	1600	Высокая точность, профессиональное применение

Практическое применение гиперспектральных технологий

Гиперспектральные технологии стали незаменимым инструментом в различных сферах деятельности благодаря своей способности детально анализировать спектральные характеристики объектов. Рассмотрим ключевые области их применения с конкретными примерами.

1. Сельское хозяйство [7]

В Израиле (компания Taranis) гиперспектральные камеры на БПЛА выявляют дефицит азота у пшеницы с точностью до 92 %.

В США (проект Sentera) технология используется для раннего обнаружения фитофтороза на картофельных полях, что позволяет сократить потери урожая на 30%.

Мониторинг орошения:

В Австралии (CSIRO) гиперспектральные системы применяются для оценки уровня влажности почвы, помогая фермерам сократить расход воды на 20-25 %.

2. Лесное хозяйство

Борьба с короедом: в Германии (European Space Agency) спутниковые гиперспектральные данные (Sentinel-2) помогают выявлять очаги поражения еловых лесов на ранних стадиях.

Оценка последствий пожаров: в Сибири (Институт космических исследований РАН) с помощью гиперспектральных систем определяют степень повреждения лесов после пожаров, что ускоряет восстановительные работы.

3. Экологический мониторинг [8]

Нефтяные разливы: в Мексиканском заливе (NASA AVIRIS) гиперспектральные снимки использовались для оценки масштабов разлива нефти после аварии на платформе Deepwater Horizon.

Загрязнение воды: в Финляндии (Specim) гиперспектральные камеры на дронах обнаруживают цветение токсичных водорослей в озерах, предотвращая экологические катастрофы.

4. Горнодобывающая промышленность

Поиск месторождений: в Чили (BHP) гиперспектральные системы на БПЛА обнаруживают залежи меди по спектральным аномалиям, сокращая затраты на разведку на 40 % [9]

Контроль добычи: в России (Росгеология) технология используется для мониторинга карьеров и предотвращения незаконной добычи полезных ископаемых.

5. Управление природными ресурсами

Эрозия почв: в Китае (Peking University) гиперспектральные данные со спутников помогают прогнозировать эрозию и планировать меры по защите сельхозугодий.

Мониторинг водных ресурсов: в Бразилии (INPE) технология используется для оценки потери леса в бассейне Амазонки и его влияния на местные реки.

6. Медицина и пищевая промышленность

Контроль качества продуктов: в Нидерландах (VanderSat) гиперспектральные системы на конвейерах позволяют выявлять плесень на фруктах с точностью до 95 %.

Диагностика заболеваний: в Японии (Tokyo University) разрабатываются гиперспектральные системы для неинвазивного обнаружения рака кожи на ранних стадиях.

7. Археология и культурное наследие

Поиск древних объектов: в Египте (University of Alabama) с помощью гиперспектральной съемки обнаружены неизвестные ранее гробницы под слоем песка.

Реставрация памятников: в Италии (CNR) технология помогает анализировать состав красок на фресках эпохи Возрождения, что упрощает их восстановление.

Технологические ограничения

Производство гиперспектрального оборудования требует дорогостоящих оптических компонентов и сложных инженерных решений, что значительно увеличивает конечную стоимость приборов. Например, цена промышленных гиперспектральных камер начинается от 50-70 тысяч долларов.

Проблемы обработки данных [10] Один час гиперспектральной съемки может генерировать до 1-2 ТБ информации, что требует:

- мощных вычислительных ресурсов;
- специализированного программного обеспечения;
- квалифицированных операторов.

Эксплуатационные сложности:

- приборы должны сохранять работоспособность в экстремальных условиях;
- температурные перепады (от минус 40°C до +60°C);
- повышенная влажность и запыленность;
- вибрационные нагрузки при аэросъемке.

Обсуждение

Исследуя все существующие способы регистрации спектров, мы пришли к выводу что, существует несколько основных проблем:

- скорость работы сканирования пространства;
- ширина спектрального диапазона в настоящее время представлена лишь в инфракрасном и видимом спектре;
- современные приборы имеют низкую спектральную чувствительность.

Таким образом, можно отметить следующую тенденцию в развитии приборов. Применение современных методов гиперспектрального сканирования, таких как интерференционный способ, позволяет значительно увеличить объем спектров, содержащихся в спектральном кубе местности или объекта. Это достигается за счет сокращения времени сканирования, что обусловлено уменьшением количества подвижных частей в конструкции прибора. При использовании ин-

терференции для сканирования можно также увеличить спектральный диапазон и спектральную чувствительность.

Также задача состоит в расширении границ применения гиперспектральных систем.

После выполнения всех описанных задач гиперспектральные приборы можно будет применять для следующих целей:

- военные цели (для обнаружения дронов, минных заграждений, людей и др) [11];
- производство лекарств;
- для поиска и обнаружения пропавших людей (для МЧС и полиции, при проведении поисковых методов);
- мониторинга в реальном времени любого объекта на земле и любого события.

Заключение

Гиперспектральные системы открывают новые горизонты для геологоразведки и экологического мониторинга. Их уникальная способность детектировать химический состав объектов на расстоянии уже сегодня позволяет:

- выявлять месторождения полезных ископаемых с точностью до 85 %;
- контролировать состояние окружающей среды в режиме реального времени;
- оптимизировать сельскохозяйственные процессы.

Ключевые направления совершенствования технологий гиперспектральных систем:

- снижение массогабаритных показателей (современные образцы весят уже менее 500 г);
- разработку эффективных алгоритмов сжатия данных;
- расширение спектрального диапазона до 2500 нм;
- адаптацию к российским климатическим условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адамович Т. А. Изучение сезонной динамики вегетационного индекса NDVI по данным Landsat // Перспективы развития научных исследований в 21 веке: материалы XIII Международной научно-практической конференции. Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью «Апробация». – 2017. – С. 99–100.
2. Magendran T., Sanjeevi S. Hyperion image analysis and linear spectral unmixing to evaluate the grades of iron ores in the part of Noamundi, Eastern India // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2016. – Vol. 27. – P. 117–127. – DOI: 10.1016/j.jag.2013.09.004.
3. Артюхина Н. К., Котов М. Н. Особенности построения видеоспектрометров дистанционного зондирования Земли из космоса // Приборы и методы измерений. – 2010. – № 1. – С. 56–62.
4. Гапонов М. И., Пожар В. Э., Мачихин А. С., Шерышев А. Е. Бортовой акустооптический гиперспектрометр для дистанционного зондирования // Материалы Международной научной конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обра-

ботки информации» : сб. ст. Москва: Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН. – 2017. – С. 259–261.

5. Ломако А. А., Ширяева А. А. Методы и алгоритмы анализа гиперспектральных изображений // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы IV Международной научно-практической конференции. Минск: Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко – 2017. – С. 85–87.

6. Ramakrishnan D., Bharti R. Hyperspectral remote sensing and geological applications // Current Science. – 2015. – Vol. 108, No. 5. – P. 879–891.

7. Rianza A., Buzzi J., Garcia-Melendez E., Vazquez I., Bellido E. et al. Pyrite mine waste and water mapping using Hymap and Hyperion hyperspectral data // Environmental Earth Sciences. – 2011. – DOI: 10.1007/s12665-011-1422-0.

8. Pyankov S. V., Maximovich N. G., Khayrulina E. A. et al. Monitoring Acid Mine Drainage's Effects on Surface Water in the Kizel Coal Basin with Sentinel-2 Satellite Images // Mine Water and the Environment. – 2021. – DOI: 10.1007/s10230-021-00761-7.

9. Kumar C., Shetty A., Raval S., Champatiray P. K., Sharma R. Sub-pixel mineral mapping of a porphyry copper belt using EO-1 Hyperion data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol. XL-8. – P. 455–461. – DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-8-455-2014.

10. Перцев Д. Ю. Система сжатия гиперспектральных данных // Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере : X Международная научно-техническая конференция : тез. докл. Брест : БрГТУ. – 2019. – С. 165–166.

11. Антонова В. А. Возможности гиперспектрального дистанционного зондирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 11-2. – С. 35–38.

© К. В. Бондаренко, 2025

Д. А. Ваулин^{1✉}, Р. В. Гришин¹

Разработка методики автоматизированного обучения чат-ботов на универсальной платформе

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: aderigio@mail.ru

Аннотация. В статье представлена методика автоматизированного обучения чат-ботов, разработанная на основе интеграции технологий машинного обучения и мультиагентного подхода. Данное решение направлено на повышение эффективности обслуживания клиентов и оптимизацию бизнес-процессов. Автоматизация обучения и регулярное обновление базы знаний позволяют снизить нагрузку на сотрудников поддержки, обеспечить круглосуточный доступ и достичь высокой точности формирования ответов в условиях динамично изменяющегося рынка. Научная новизна исследования заключается в распределении функций между специализированными агентами, что позволяет адаптировать модель под реальные условия эксплуатации, а также в разработке алгоритмов предобработки, разметки и обучения на основе текстовых данных. Результаты апробации методики подтверждают ее высокую эффективность и перспективность в автоматизации взаимодействия с пользователями.

Ключевые слова: автоматизированное обучение, чат-боты, мультиагентная система, машинное обучение, база знаний, интеллектуальная система

D. A. Vaulin^{1✉}, R. V. Grishin¹

Development of automated training methods for chatbots on a universal platform

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: aderigio@mail.ru

Abstract. The article presents a method of automated training of chatbots, developed based on the integration of machine learning technologies and a multi-agent approach. This solution is aimed at improving the efficiency of customer service and optimizing business processes. Automation of training and regular updating of the knowledge base make it possible to reduce the burden on support staff, provide round-the-clock access and achieve high accuracy in forming responses in a dynamically changing market. The scientific novelty of the research lies in the distribution of functions between specialized agents, which makes it possible to adapt the model to real-world operating conditions, as well as in the development of preprocessing, markup, and learning algorithms based on textual data. The results of the testing of the methodology confirm its high effectiveness and prospects in automating user interactions.

Keywords: automated learning, chatbots, multi-agent system, machine learning, knowledge base, intelligent system

Введение

В современном бизнесе эффективность обслуживания клиентов становится критически важной, а традиционные методы поддержки часто оказываются не-

эффективными и затратными. С целью оптимизации процессов коммуникации и снижения нагрузки на сотрудников службы поддержки все чаще прибегают к использованию интеллектуальных чат-ботов. Эти системы способны обрабатывать запросы пользователей в режиме реального времени, обеспечивая круглосуточную доступность и мгновенный отклик, что значительно повышает удовлетворенность клиентов и снижает операционные затраты [1–3].

Разработка методики автоматизированного обучения чат-ботов является актуальной задачей, поскольку современные технологии машинного обучения позволяют создать адаптивные системы, способные на постоянное самообновление и улучшение качества предоставляемых ответов. Такой подход предусматривает использование мультиагентной архитектуры, в рамках которой отдельные специализированные агенты, включающие различные модули, решают свои задачи: обработка запросов, обучение и обновление модели, хранение базы знаний, сбор и анализ статистических данных (рис. 1). Этот метод позволяет не только распределить вычислительную нагрузку, но и повысить устойчивость системы, поскольку отказ одного компонента не приводит к полной остановке работы [1–3].

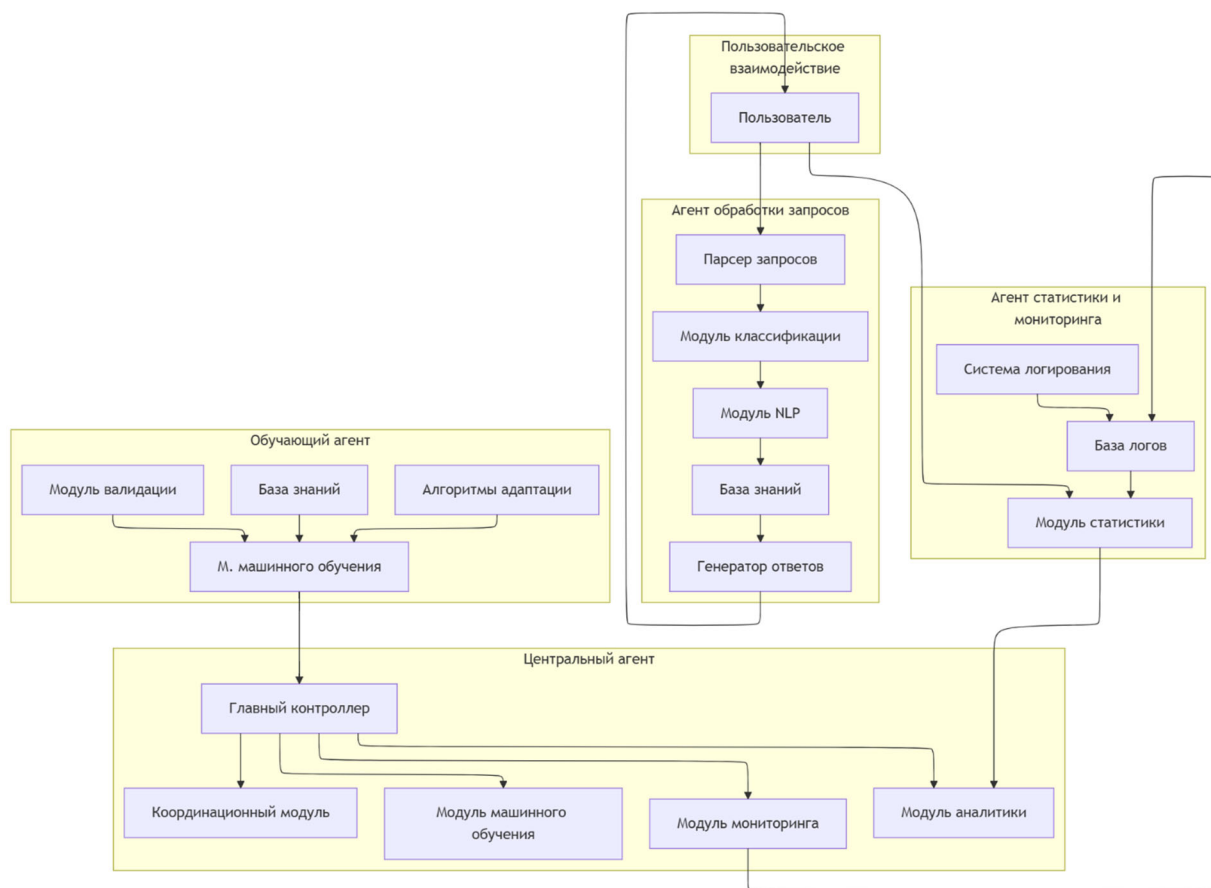


Рис. 1. Архитектура системы

Настоящее исследование направлено на анализ современных методов обучения и управления интеллектуальными чат-ботами, определение критериев их

эффективности и разработку новой методики, которая будет способна автоматизировать процесс обучения и повысить качество работы системы в условиях динамично изменяющихся бизнес-процессов. Результаты исследования могут быть внедрены в различные сферы, где требуется оперативная и точная обработка клиентских запросов, что делает данную тему особенно актуальной для современных предприятий.

Методы и исследования

Анализ существующих исследований показал, что в последние годы наблюдается рост интереса к автоматизации обучения интеллектуальных систем. Классические работы в области экспертных систем (Бажанов, Бухнин; Рыбина) предлагают основы построения систем управления знаниями [4], однако они не учитывают динамичность современных бизнес-процессов и необходимость постоянного обновления обучающих данных. Современные публикации (Ковалев и др., Демченко, Трифонов) акцентируют внимание на использовании методов машинного обучения для адаптации моделей под новые данные, что является ключевым для автоматизированного обучения чат-ботов. Мультиагентный подход, описанный в ряде работ (Частиков, Горбаченко, Белкин), позволяет распределить задачи между независимыми модулями, повышая масштабируемость и отказоустойчивость системы. Анализ литературы показал, что интеграция алгоритмов NLP, методов машинного обучения и распределенных вычислений способствует созданию эффективных систем автоматизированного обучения, однако систематизированная методика для чат-ботов до сих пор отсутствует [5, 6].

Разработка методики базируется на следующих этапах:

1. Определение терминологии и анализ существующих методов автоматизированного обучения чат-ботов.
2. Проектирование мультиагентной архитектуры, где каждый агент выполняет специализированные функции:
 - агент обработки запросов получает и анализирует текстовые данные, используя средства NLP для извлечения ключевых элементов запроса;
 - обучающий агент загружает данные из текстовых источников (например, JSON- или CSV-файлов), выполняет предобработку (токенизация, нормализация, удаление шума) и разметку, после чего обучает модель машинного обучения [7];
 - агент генерации ответов на основе обученной модели формирует окончательные ответы [8], а агент базы знаний хранит предварительно подготовленные ответы для типовых запросов;
 - агент статистики и аналитики собирает данные о количестве обработанных запросов, времени ответа и эффективности работы системы [9];
 - административный агент обеспечивает управление настройками системы, контроль обновлений и мониторинг безопасности.
3. Разработка алгоритмов для предобработки и разметки текстовых данных, включая методы нормализации и векторизации текстов.
4. Имплементация алгоритмов обучения с использованием современных

библиотек машинного обучения, настройка гиперпараметров и оценка качества модели [10].

5. Апробация методики на тестовых данных, анализ результатов и корректировка модели на основе собранной статистики.

6. Формирование рекомендаций по дальнейшему внедрению системы в условиях реального бизнеса.

Результаты

В ходе апробации разработанной методики автоматизированного обучения чат-ботов были получены убедительные результаты, подтверждающие эффективность интеграции мультиагентного подхода и технологий машинного обучения [11]. Каждый из агентов системы обрабатывает данные в строго определенных форматах, что позволяет добиться высокой точности и адаптивности работы платформы.

Центральный интеллектуальный агент принимает агрегированные отчеты от модуля аналитики (рис. 2), где данные представлены в виде структурированных JSON-объектов и CSV-файлов с метками времени (формат 'YYYY-MM-DD HH:MM:SS' или с миллисекундами, например, 'YYYY-MM-DD HH:MM:SS.%f'). Этот агент передает команды другим модулям, оформленным также в виде JSON сообщений, что обеспечивает стандартизированный поток данных между компонентами системы.

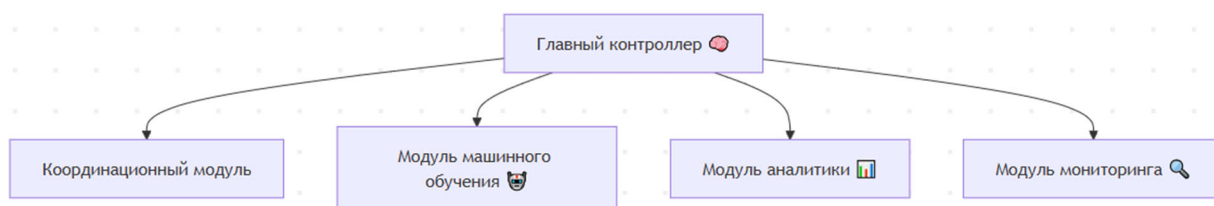


Рис. 2. Схема центрального интеллектуального агента

Все основные модули системы обмениваются данными посредством API в формате JSON. Это обеспечивает стандартизированное взаимодействие между агентами – от обработки пользовательских запросов до передачи обучающих данных и аналитики. Например, после предобработки обучающий агент получает данные в CSV-формате, преобразует их в набор структурированных JSON-объектов, пригодных для обучения нейросетевых моделей, и передает результаты в Центральный интеллектуальный агент для дальнейшего распределения. Аналогично, аналитические данные, такие как метрики точности, время отклика и статистика ошибок, собираются модулями статистики и сохраняются в базе данных SQLite для последующего анализа и оптимизации модели [12].

Пилотное тестирование показало, что система успешно обрабатывает входящие данные, конвертирует их в требуемый формат и использует для обучения моделей, улучшая качество генерируемых ответов (рис. 3).

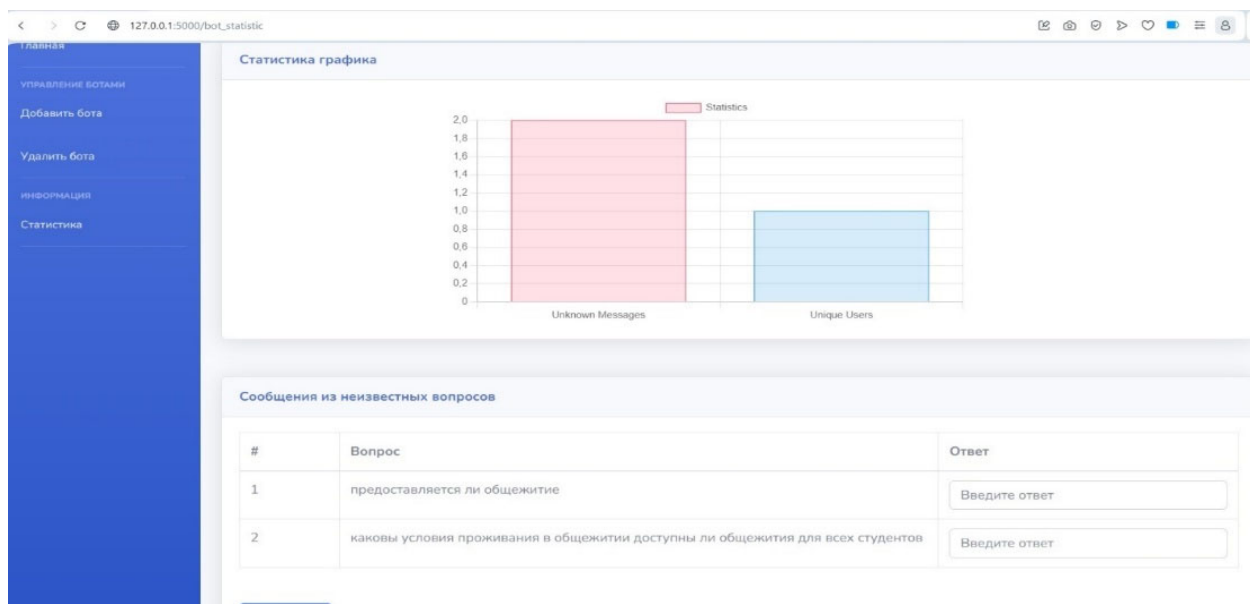


Рис. 3. Страница обучения

Использование API для обмена данными позволяет обеспечить высокую скорость и надежность работы системы даже при увеличении объема обрабатываемой информации (рис. 4).

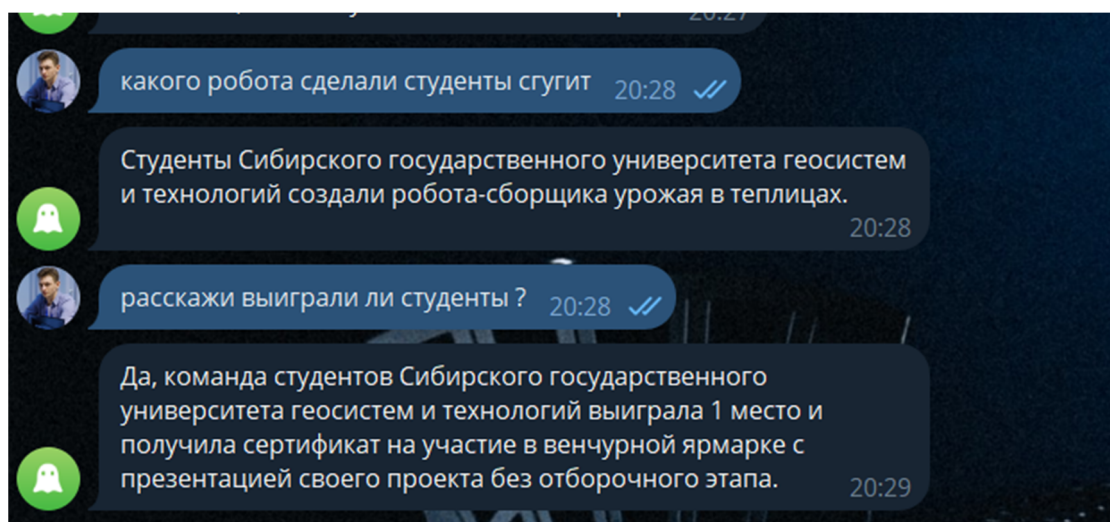


Рис. 4. Пример работы бота на обученных данных сайта СГУГиТ

При этом выгрузка аналитических и обучающих данных в базу SQLite делает систему гибкой и адаптивной, позволяя оперативно обновлять модели и контролировать производительность чат-ботов.

Агент администрирования, реализованный через веб-платформу, использует API для взаимодействия с другими модулями. Его интерфейс передает и получает данные в формате JSON, что обеспечивает гибкость управления настройками системы без необходимости обращения к серверной части напрямую. До-

полнительно, данный модуль обеспечивает возможность редактирования и обновления обучающих данных, позволяя клиенту полностью добавлять или изменять информацию, на основе которой бот формирует ответы.

Разрабатываемая методика автоматизированного обучения чат-ботов на универсальной платформе характеризуется низкой вычислительной нагрузкой благодаря распределенной архитектуре, где обработка данных осуществляется несколькими специализированными агентами. Такая структура позволяет не требовать мощных серверов, что существенно снижает эксплуатационные затраты. Ниже приведены ориентировочные параметры и расчетные расходы на серверное оборудование, а также стоимость использования GigaChat API [13].

Для обеспечения стабильной работы системы при различных объемах пользователей рекомендуется использовать конфигурации серверов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Аппаратные конфигурации

Количество пользователей	Рекомендуемая конфигурация сервера	Ориентировочная стоимость сервера, руб./мес	Предполагаемое потребление токенов в месяц	Стоимость использования GigaChat API, руб.
100	2 vCPU, 4 ГБ ОЗУ, 50 ГБ SSD	2 000 – 2 500	~0.1 млн токенов	~200 ($0,1 \times 2\,000$)
1 000	4 vCPU, 8 ГБ ОЗУ, 100 ГБ SSD	5 000 – 6 000	~1 млн токенов	2 000
10 000	8 vCPU, 16 ГБ ОЗУ, 200 ГБ SSD	10 000 – 12 000	~10 млн токенов	20 000

Стоимость использования GigaChat API составляет 2 000 рублей за 1 миллион токенов. При среднем потреблении, например, если один чат-бот генерирует около 100 тысяч токенов в месяц, затраты составят примерно 200 рублей за бот. Эти цены обеспечивают экономичное масштабирование системы даже при обслуживании до 10 000 пользователей.

Помимо расходов на серверное оборудование, масштабируемая архитектура платформы позволяет использовать облачные решения, где за счет распределения нагрузки между агентами требуется использовать серверы с умеренными вычислительными мощностями. Это снижает первоначальные затраты на инфраструктуру и делает систему доступной для компаний малого и среднего бизнеса [13].

Таким образом, предлагаемая архитектура и методика автоматизированного обучения чат-ботов обладают не только высокой эффективностью и адаптивно-

стью, но и экономической целесообразностью: система не требует дорогостоящего серверного оборудования, а использование GigaChat API позволяет с минимальными затратами обеспечивать высококачественную обработку запросов даже при значительном увеличении количества пользователей [13].

Таким образом, разработанная методика автоматизированного обучения чат-ботов демонстрирует свою эффективность через:

- автоматизированное преобразование входных данных (TXT → CSV) с последующей структуризацией в формате JSON;
- стандартизированный обмен данными между модулями через API, что позволяет обеспечивать высокую точность и скорость обработки;
- эффективное хранение аналитических и обучающих данных в базе SQLite, что способствует дальнейшей оптимизации алгоритмов и повышению качества обслуживания клиентов.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана методика автоматизированного обучения чат-ботов на универсальной платформе, основанная на мультиагентном подходе и современных технологиях машинного обучения. Полученные результаты подтверждают, что предложенная система позволяет эффективно обрабатывать пользовательские запросы, обеспечивая высокую скорость генерации ответов и адаптацию к изменяющимся условиям бизнеса. Экономическая оценка показала, что система не требует дорогостоящего серверного оборудования, а использование GigaChat API является экономичным даже при масштабном обслуживании пользователей.

Таким образом, разработанная методика демонстрирует свою перспективность и практическую применимость для повышения качества обслуживания клиентов, сокращения затрат на поддержку и оптимизации внутренних бизнес-процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейчиков, А. В. Интеллектуальные информационные системы : учебник для вузов / А. В. Андрейчиков. – Москва : Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
2. Гаскаров, Д. В. Интеллектуальные информационные системы : учебник для вузов / Д. В. Гаскаров. – Москва : Высшая школа, 2003. – 431 с.
3. Любарский, Ю. Я. Интеллектуальные информационные системы / Ю. Я. Любарский. – Москва : Наука, 1990. – 227 с.
4. Бажанов Ю. С., Бухнин А. В. Автоматизированные системы обработки информации и управления. – Москва : Наука, 2010. – 245 с. – ISBN 978-5-02-036421-4. – Текст: непосредственный.
5. Ковалев А. В., Золотов В. С. Применение машинного обучения в экспертных системах. – Самара : СамГТУ, 2020. – 228 с. – ISBN 978-5-93424-851-3. – Текст: непосредственный.
6. Трофимов В. Б., Кулаков С. М. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами : учебно-практическое пособие. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. – 232 с. – ISBN 978-5-9729-0135-7. – Текст : электронный. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/760121>.

7. Кобелев, Н. Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем / Н. Б. Кобелев. – Москва : Вузовский учебник, 2015. – 139 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=514320>.
8. Джурафски Д., Мартин Дж. Х. Речь и обработка естественного языка : учебное пособие / Д. Джурафски, Дж. Х. Мартин. – 3-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 1008 с. – ISBN 978-5-97060-789-9. – Текст: непосредственный.
9. Сурков Ф. А., Селютин В. В. Системный анализ и математическое моделирование сложных экологических и экономических систем. Теоретические основы и приложения : монография. – Ростов-на-Дону : Издательство ЮФУ, 2015. – 162 с. – ISBN 978-5-9275-1985-9. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/989763>.
10. Исаев Г. Н. Моделирование оценки качества информационных систем. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 230 с. – ISBN 978-5-16-103582-5 (online). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/521640>.
11. Вуддридж М. Введение в мультиагентные системы : учебное пособие / М. Вуддридж. – Москва : Вильямс, 2009. – 272 с. – ISBN 978-5-8459-0713-9. – Текст: непосредственный.
12. Документация Flask. – URL: <https://flask.palletsprojects.com/> (дата обращения: 20.09.2024). – Текст: электронный.
13. Документация GigaChat API. – URL: <https://github.com/gigachat/gigachat-api-docs> (дата обращения: 20.09.2024). – Текст: электронный.

© Д. А. Ваулин, Р. В. Гришин, 2025

И. Н. Гутов¹✉, А. В. Шабурова¹

Методика создания алгоритма расчета финансовых рисков от потери информации

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: igutov@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальному вопросу расчета финансовых рисков предприятий от потери или утечки информации. Учитывая, что бизнес в современном мире оперирует в основном цифровой информацией, защита информации стала важной частью организации работы предприятий, и расчет финансовых рисков имеет большое значение для принятия управленческих решений в области защиты информации. Результаты расчетов помогают бизнесу в оценке финансовых вложений для разработки стратегии защиты информации, выборе соответствующих мер и технологий безопасности. Они помогают руководству оценить потенциальные финансовые потери и принять обоснованные решения о выделении бюджета на обеспечение информационной безопасности на предприятии.

Ключевые слова: финансовые риски, информационная безопасность, потеря информации, алгоритмы расчета

I. N. Gutov¹✉, A. V. Shaburova¹

Methodology for creating an algorithm for calculating financial risks from information loss

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: igutov@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the topical issue of calculating the financial risks of enterprises from loss or leakage of information. Considering that business in the modern world operates mainly with digital information, information protection has become an important part of the organization of enterprises, and the calculation of financial risks is of great importance for making managerial decisions in the field of information protection. The calculation results help businesses evaluate financial investments to develop an information protection strategy and select appropriate security measures and technologies. They help management assess potential financial losses and make informed decisions about allocating a budget to ensure information security at the enterprise.

Keywords: financial risks, information security, information loss, algorithm for calculating

Введение

Со стремительным развитием современных средств вычислительной техники и телекоммуникаций цифровая информация стала играть большую роль в деятельности предприятий. В связи с этим информация стала иметь значимость для предприятий как финансовый и репутационный актив и не только.

Но, в то же время, широкое распространение цифровой информации имеет и свои минусы – как актив цифровая информация стала целью как конкурентов,

так и различных хакерских группировок, имеющих финансовые и политические интересы, что увеличивает риски потери или утечки информации. При этом методы и способы получения несанкционированного доступа к цифровой информации развиваются с каждым днем и поэтому защита информации на предприятиях имеет очень большое значение.

Для обеспечения информационной безопасности на предприятиях необходимо иметь понятные и простые методики расчета финансовых рисков, на основании которых будут приниматься решения о внедрении стратегий и механизмов защиты информации от утечки или потери.

При этом важность оценки финансовых рисков от потери или утечки информации для предприятия неоспорима, так как она помогает принимать управленческие решения в области защиты информации, что позволяет минимизировать риски и обеспечить непрерывность работы предприятия, а также рассчитать страховые взносы при киберстраховании предприятия от ущерба при утечке или потери информации.

На рынке присутствуют продукты для анализа рисков, но ни один из них не отвечает требованиям универсальности, при этом большинство методик основано на зарубежных разработках и в них не учитывается специфика российских предприятий.

В данной статье ставится задача описать методику создания универсального алгоритма расчета финансового риска предприятия от потери информации на основе процессного подхода.

Анализ существующих методик расчета рисков

Самой большой сложностью при принятии мер по обеспечению информационной безопасности являются ограничения бюджета и отсутствие поддержки со стороны руководства, хотя в этой части в последнее время есть положительная тенденция.

Чтобы донести до руководства необходимость выделения бюджета на обеспечение информационной безопасности и нужны расчеты, которые могут показать, сколько денег потеряет предприятие при реализации угроз, какие места наиболее уязвимы и какие меры требуется предпринять, чтобы повысить уровень защищенности инфраструктуры.

Для решения таких задач разработаны методики CRAMM (британской компанией Insight Consulting) и RiskWatch (американской компанией RiskWatch). На основе этих методик соответственно были разработаны программные комплексы анализа и контроля информационных рисков. Но данные методики достаточно трудоемки в реализации и поддержке, при этом в Российской Федерации практически отсутствуют специалисты по этим продуктам, что не позволяет полноценно применять данные методики на практике [1].

Есть отечественная корпоративная система управления информационной безопасностью от компании Digital Security, которая включает в себя систему анализа и управления корпоративными рисками «ГРИФ» и средство для управления политикой информационной безопасностью «Кондор». Данная система

была востребованы в банковской сфере, но последние упоминания производителя о данной системе датированы 2006 годом, а в информационных материалах система упоминалась в 2021 году [2]. Таким образом сложно говорить об актуальности данной системы.

Также имеются разработки по оценке величины ущерба от воздействия на информацию различных угроз на основе математического моделирования. Одна из разработок описана в работе [3]. Но данная методика описывает модель на основе одной информационной системы, а в инфраструктуре современных предприятий таких систем может быть десятки, и тогда моделирование усложняется.

Анализ методик, проведенный в работе [4], показывает проблематику отсутствия единого подхода к расчетам рисков, что приводит к неоднозначности результатов и, как следствие, недооценки бизнесом данной сферы деятельности предприятия. При этом стоит рассматривать риски информационной безопасности как неотъемлемую часть рисков ведения всего бизнеса [5].

Алгоритм расчета рисков

Многие отечественные методики построены с учетом стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010 «Менеджмент риска информационной безопасности» [6] и начинаются с идентификации и описания активов. Далее проводится идентификация угроз, связанных с активами, идентификация существующих контролей, идентификация уязвимостей и последствий.

В данной работе предлагается начинать не с информационных активов, а с описания бизнес-процессов предприятия как актива. Учитывая, что деятельность предприятий неотрывна связана с созданием, обработкой и передачей цифровой информации, можно рассматривать предприятие как некий механизм, перерабатывающий цифровую информацию для получения прибыли (рис. 1).

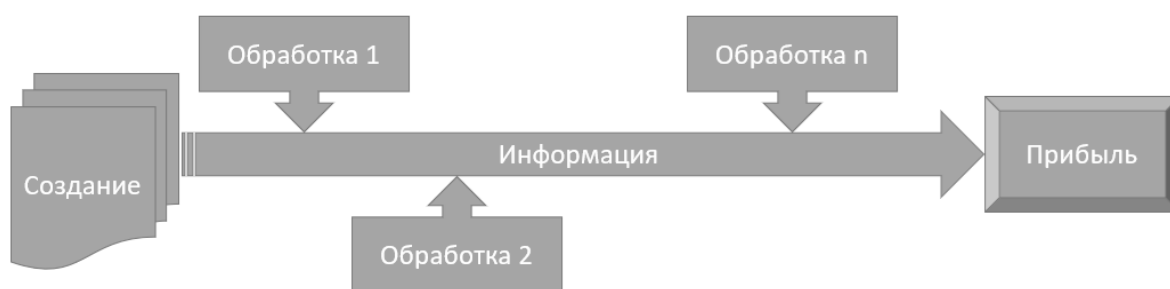


Рис 1. Схема прохождения информации на предприятии

Если принять как основу информационной безопасности три основных принципа: целостность, доступность и конфиденциальность информации, то любое нарушение работы механизма может нарушить любой из этих принципов. Тогда и прохождение, и целостность информации будут нарушены.

Соответственно мы можем рассматривать работу предприятия как механизма с помощью описания бизнес-процессов (БП). Для этого составляем карту бизнес-процессов предприятия (рис.2).

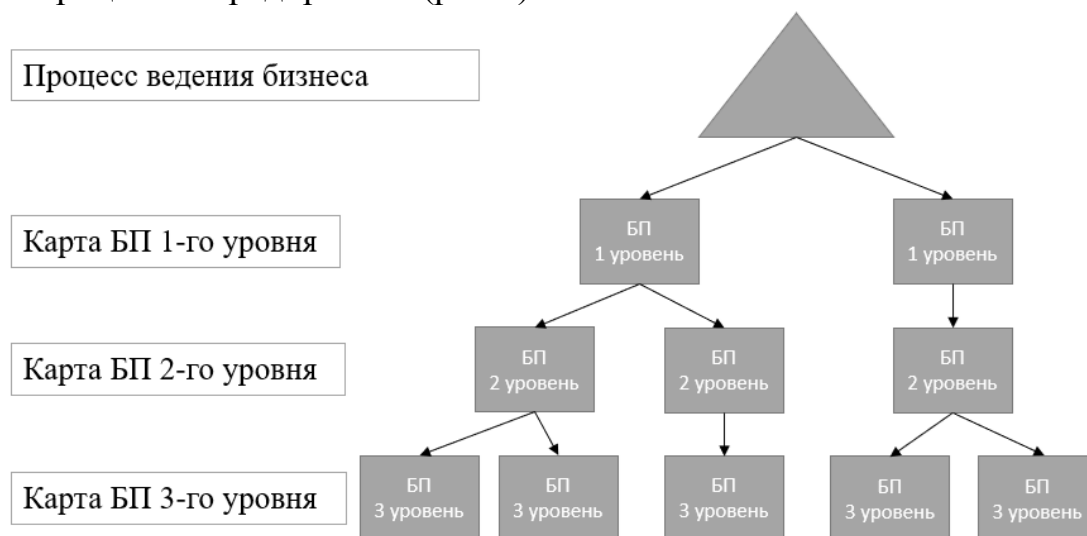


Рис 2. Построение карты бизнес-процессов

Далее ранжируем бизнес-процессы по важности на примере таблицы 1.

Таблица 1 – Значения важности бизнес-процесса

Уровень важности	Описание
Особой важности	Кратковременное прерывание в работе приводит к существенному ущербу для бизнес-процесса
Важный	Остановка в работе приводит к существенному ущербу для бизнес-процесса
Средней важности	Кратковременное прерывание в работе приводит к ограниченным потерям
Маловажный	Остановка в работе приводит к ограниченным потерям
Неважный	Перерыв в работе не вызывает существенных потерь

Следующим шагом необходимо провести анализ связности бизнес-процессов с информационными активами. Если на предприятии ведется документирование инфраструктуры, то в регламентах должно быть описание информационной системы, ее зависимость от системных сервисов и влияние на вышестоящие активы, в том числе бизнес-процессы. На основании этих данных можно сделать описание угроз информационным системам и уязвимости сервисов как это описано в документах [6] и [7].

Далее оцениваем влияние бизнес-процесса на общую деятельность предприятия, например, можно сделать косвенную оценку, насколько уменьшится эффективность работы подразделений, связанных с работой данного бизнес-процесса.

В итоге всех этих шагов мы будем иметь данные о вероятности наступления угрозы информационным активам, связанным с бизнес-процессом, также можем оценить возможные значения ущерба активу при реализации угроз. Необходимо учитывать и ущерб, который понесут еще и связанные активы.

Результат анализа сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводная таблица бизнес-процессов

Описание бизнес-процесса	Уровень воздействия на деятельность (в долях от 1)	Вероятность наступления угрозы в течение года	Итоговый коэффициент воздействия
Бизнес-процесс №1	0,35	0,02	0, 007
Бизнес-процесс №2	0,15	0,2	0,03
Бизнес-процесс №3	0,55	0,05	0,0275
Бизнес-процесс №4	0,25	0,1	0,025
ИТОГО			0,0895

Таким образом при нарушении работы одного из бизнес-процессов эффективность работы предприятия упадет от 15 до 55 %. Но с учетом вероятности наступления угрозы, влияющей на бизнес-процесс, итоговый результат будет ниже. На основании этой оценки мы можем рассчитать финансовые потери от нарушения работы того или иного бизнес-процесса.

Для принятия решения необходимо учитывать коэффициент воздействия нарушения работы бизнес-процесса на деятельность предприятия и вероятность реализации угроз системам, связанных с данным бизнес-процессом. Чем выше коэффициент воздействия и вероятность наступления угрозы, тем скорее должны быть приняты меры по обеспечению информационной безопасности.

Выводы и заключение

В этой работе был описан механизм создания методики расчета финансовых рисков предприятия от потери или утечки информации с учетом процессов работы предприятия. Данная методика позволяет сделать наглядным воздействие угроз на работу бизнес-процессов предприятия. Но для полноценной картины на предприятии должно быть полное документирование инфраструктуры с описанием систем, сервисов, их взаимодействие и воздействие на зависимые бизнес-процессы. Так как финансовые показатели работы предприятия напрямую зависят от бизнес-процессов предприятия и на них влияют все риски ведения бизнеса, то введение рисков информационной безопасности в общую картину бизнеса

позволит изменить отношение владельцев бизнеса к информационной безопасности.

Целью данной статьи было описание создания алгоритма расчета финансовых рисков на основе описания бизнес-процессов и их взаимодействия с инфраструктурой предприятия. Но требуется дальнейшая проработка алгоритма, чтобы позволить автоматизировать данный процесс и, возможно, в дальнейшем на его основе разработать программный модуль для встраивания в учетные системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранова Е.К. Методики анализа и оценки рисков информационной безопасности / Е.К. Баранова // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1(9). – С.73-79.
2. Глущенко И.С., Баранова Е.М., Баранов А.Н., Борзенкова С.Ю. Современные информационные системы анализа и управления рисками в сфере информационной безопасности / И.С. Глущенко, Е.М. Баранова, А.Н. Баранов, С.Ю. Борзенкова // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – Вып.2. – С.311-316.
3. Росенко А.П., Аветисов Р.С. Математическое моделирование вероятного ущерба от утечки конфиденциальной информации в автоматизированной информационной системе / А.П. Росенко, Р.С. Аветисов // Вестник Ставропольского государственного университета. – 2009. - № 63. – С.51-61.
4. Гутов И.Н., Шабурова А.В. Анализ методик расчета экономического ущерба от потери или утечки информации / И.Н. Гутов, А.В. Шабурова // Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – 2024. – Том 6. – С.49-55.
5. Краснов И.З., Карелин О.И. Методика анализа и оценки рисков организации / И.З. Краснов, О.И. Карелин // Вестник СибГАУ. – 2014. - № 2(54). - С.37-44.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности = Information technology. Security techniques. Information security risk management : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. № 632-ст : введен впервые : дата введения 2011-12-01 – Москва : Стандартиформ, 2011. – 51 с.
7. Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. [Утвержден ФСТЭК России 5 февраля 2021 года]. – Москва, 2021. – 83 с.

© И. Н. Гутов, А. В. Шабурова, 2025

Ю. А. Жданов¹✉, М. М. Шляхова¹

Обучение модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров с использованием спутниковых данных

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: zhdanov.2002@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки и обучения модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров на основе спутниковых данных. Основные этапы исследования включают анализ существующих подходов к обработке спутниковых изображений, проектирование и обучение модели, а также оценку ее эффективности. Для повышения наглядности добавлены таблицы, иллюстрирующие сравнение методов и результаты экспериментов. Представлены результаты применения модели для выявления очагов возгорания, сегментации зон пожаров и прогнозирования их распространения, включая количественные показатели точности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, спутниковые данные, лесные пожары, машинное обучение, обработка изображений

Yu. A. Zhdanov¹✉, M. M. Shlyakhova¹

Training a computer vision model for forest fire monitoring using satellite data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: zhdanov.2002@yandex.ru

Abstract. The article discusses the process of developing and training a computer vision model for monitoring forest fires based on satellite data. The main stages of the study include analyzing existing approaches to processing satellite imagery, designing and training the model, and evaluating its effectiveness. Tables have been added for clarity, illustrating method comparisons and experimental results. The results of applying the model to detect fire hotspots, segment fire zones, and predict fire spread are presented, including quantitative accuracy metrics.

Keywords: computer vision, satellite data, forest fires, machine learning, image processing

Введение

Лесные пожары представляют глобальную угрозу экосистемам, экономике и человеческой безопасности. Согласно данным Всемирной метеорологической организации, в 2023 году лесные пожары в России уничтожили более 10 млн гектаров леса, что подчеркивает необходимость оперативного мониторинга. Современные технологии обработки спутниковых данных, включая методы компьютерного зрения, позволяют автоматизировать обнаружение очагов возгорания и прогнозировать их распространение, минимизируя время реакции служб пожаротушения.

Ведущие исследования, опубликованные в журналах «Remote Sensing» и «Environmental Monitoring and Assessment», подчеркивают эффективность применения методов машинного обучения, таких как сверточные нейронные сети и алгоритмы YOLO, для анализа спутниковых изображений. Например, исследование 2022 года в «Remote Sensing» продемонстрировало, что модели на основе CNN могут достигать точности классификации зон пожаров до 92 %. Тем не менее, сохраняются вызовы, связанные с объединением данных из различных спутниковых систем, таких как MODIS и Sentinel-2, а также с необходимостью разработки единых стандартов для оценки производительности моделей.

Цель исследования – разработка и обучение модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров, способной оперативно анализировать спутниковые данные, выявлять очаги возгорания и прогнозировать их распространение. Это позволит повысить эффективность работы служб пожаротушения и минимизировать экологический ущерб.

Методы и технологии

Разработка модели компьютерного зрения включала несколько этапов: анализ предметной области, проектирование архитектуры модели, выбор технологий, обучение и тестирование.

Анализ предметной области показал, что мониторинг лесных пожаров требует обработки больших объемов спутниковых данных с высоким пространственным и временным разрешением. Данные Sentinel-2 (разрешение 10 м) и MODIS (ежедневные снимки) были выбраны как основные источники. Ключевые задачи включают обнаружение очагов возгорания, сегментацию зон пожаров и прогнозирование их распространения.

Для реализации модели был выбран стек технологий, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Выбранный стек технологий для разработки модели

Технология	Описание	Применение
Python	Язык программирования с библиотеками для ML	Реализация алгоритмов, обучение моделей
TensorFlow	Фреймворк для машинного обучения	Создание и обучение нейронных сетей (CNN, FCN)
PyTorch	Фреймворк для глубокого обучения	Реализация YOLO и временных моделей
SAGA GIS	ПО для обработки геопространственных данных	Анализ спутниковых снимков

В табл. 2 приведено сравнение методов компьютерного зрения, дополненное описаниями их функциональности.

Сравнение методов компьютерного зрения

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Сверточные нейронные сети (CNN)	Многослойные нейронные сети, анализирующие изображения через свертки и пулинг для классификации и распознавания объектов, таких как очаги пожаров. Включают этапы обработки: преобразование изображений в массивы, применение фильтров, пулинг и итеративные свертки	Высокая точность (до 94% F1-Score), гибкость для различных типов данных	Высокие вычислительные затраты, требующие мощного оборудования (GPU)
YOLO (You Only Look Once)	Алгоритм обнаружения объектов, выполняющий анализ изображения за один проход, разделяя его на сетку и определяя очаги возгорания в каждой ячейке. Подходит для реального времени	Высокая скорость (0,4 сек/снимок), идеально для оперативного мониторинга	Сниженная точность для мелких объектов (например, небольших очагов)
Fully Convolutional Networks (FCN)	Нейронные сети для семантической сегментации, выделяющие зоны пожаров на снимках через свертки и деконволюции, сохраняя пространственную структуру	Точная сегментация (IoU 0,87), подходит для анализа масштаба пожаров	Сложность настройки гиперпараметров, высокие вычислительные затраты

Сверточные нейронные сети (CNN) обрабатывают спутниковые снимки, выделяя признаки, такие как дым или высокая температура, через многослойную архитектуру. Они эффективны для классификации зон пожаров, но требуют значительных ресурсов.

YOLO оптимизирован для получения высокой скорости, что делает его подходящим для оперативного обнаружения очагов возгорания в реальном времени, особенно на больших территориях.

Fully Convolutional Networks (FCN) позволяют точно выделять границы зон пожаров, что критично для оценки их масштаба и планирования тушения.

Анализ временных рядов использует последовательные снимки для прогнозирования траектории пожаров, учитывая погодные условия и топографию.

Данные Sentinel-2 и MODIS обеспечивают высокое разрешение (10 м) и ежедневное обновление, что позволяет оперативно отслеживать изменения. Обучение проводилось на наборе из 10 000 снимков лесных массивов Сибири.

Архитектура модели. Модель интегрирует пространственно-временные данные, комбинируя результаты CNN, YOLO, FCN и временных моделей.

База данных включает снимки из открытых источников, обработанные в SAGA GIS с использованием описанных методов компьютерного зрения.

Результаты

Разработанная модель реализует следующие функции:

- обнаружение очагов возгорания (F1-Score 94 %);
- сегментация зон пожаров (IoU 0,87);

– прогнозирование распространения пожаров (точность 85 %).

Табл. 3 показывает производительность методов на тестовом наборе из 500 снимков Sentinel-2.

Таблица 3

Производительность методов компьютерного зрения

Метод	Точность (F1-Score)	Время обработки, сек	IoU (сегментация)
CNN	0,94	1,2	0,87
YOLO	0,90	0,4	-
FCN	0,88	1,5	0,87
Анализ временных рядов	0,85	1,0	-

Заключение

Разработанная модель компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров на основе спутниковых данных демонстрирует высокую точность (F1-Score) 94 % для обнаружения очагов, IoU 0,87 для сегментации) и оперативность (0,4 секунды для YOLO). Модель способна автоматизировать обнаружение пожаров, сегментацию зон и прогнозирование их распространения, что может существенно повысить эффективность работы служб пожаротушения.

Хотя модель еще не внедрена, но ее тестирование на исторических данных Sentinel-2 и MODIS показало потенциал для сокращения времени реакции на пожары на 25–30 % по сравнению с традиционными методами. Планируется пилотное внедрение в 2025 году в сотрудничестве с региональными службами лесоуправления, в которых модель будет интегрирована с веб-интерфейсом для предоставления данных пожарным, экологам и администрациям. Это позволит оперативно анализировать спутниковые снимки и минимизировать человеческий фактор.

Потенциальные пользователи – службы пожаротушения, лесоуправления и экологические организации – смогут использовать модель для раннего обнаружения пожаров и планирования ресурсов. Ее преимущества включают масштабируемость, возможность адаптации к различным регионам и обновления с новыми данными.

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на повышении точности прогнозов в условиях облачности и сложных ландшафтов, интеграции с данными дронов для локального мониторинга и разработке стандартов оценки моделей для глобального применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптация алгоритма детектирования пожаров MOD14 для работы с данными прибора МСУ-МР / Д. В. Лозин, Е. А. Лупян, И. В. Балашов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21, № 1. – С. 231-245.

2. Автоматизация процесса обнаружения лесных пожаров по данным дистанционного зондирования Арктика-м / Ю. А. Маглинец, К. В. Раевич, Р. А. Шатров [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10(148).
3. Концептуальное проектирование системы мониторинга и анализа динамики лесных пожаров / Ю. А. Маглинец, К. В. Раевич, Р. В. Брежнев [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10(148).
4. Прикладные аспекты исследования геосфер с использованием спутниковых технологий / В. Б. Кашкин, Т. В. Рублева, К. В. Симонов [и др.] ; Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – 256 с.
5. Анализ и оптимизация временных затрат при выявлении лесных пожаров по обобщенным данным космического мониторинга и беспилотных летательных аппаратов / В. Б. Рогожин, А. А. Лезова, А. А. Лезов, И. Е. Лезова // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии : Четвертая Международная научная конференция. Сборник докладов. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 04–21 апреля 2023 года. Том 1 Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 109-116.
6. Суворов А. Н. Исследование методов искусственного интеллекта при прогнозировании лесных пожаров / А. Н. Суворов // Развитие науки, образования и технологий: механизм отбора и реализация приоритетов : Сборник статей по результатам Международная научно-практическая конференция, Уфа, 21 декабря 2023 года. – Sterlitamak: ООО "Агентство международных исследований", 2023. – С. 121-126.

© Ю. А. Жданов, М. М. Шляхова, 2025

А. С. Зонов¹✉, А. В. Шабурова¹

Сканер прошивок оптических роутеров: подходы к обнаружению программных закладок

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: alex301919@yandex.ru

Аннотация. Оптические роутеры (PON) занимают ключевое место в современных сетях, обеспечивая высокоскоростной доступ в интернет. Однако их прошивки часто содержат уязвимости или преднамеренно внедренные программные закладки, такие как бэкдоры, что создает риски для корпоративных и домашних сетей. В статье представлен метод разработки сканера прошивок, способного автоматизировать процесс выявления вредоносных внедрений. Инструмент реализован на языке Python3 и сочетает методы сравнения хэшей, статического анализа и эмуляции среды. Тестирование продемонстрировало эффективность сканера в обнаружении модифицированных прошивок, включая интеграцию reverse-shell и подозрительных ссылок на системные файлы. Результаты работы подчеркивают необходимость внедрения подобных решений для обеспечения безопасности IoT-устройств в условиях роста киберугроз.

Ключевые слова: PON, безопасность сети, аудит, маршрутизатор, статических анализ

A. S. Zonov¹✉, A. V. Shaburova¹

Firmware scanner for optical routers: approaches to detecting software implants

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: alex301919@yandex.ru

Abstract. Optical routers (PON) occupy a key place in modern networks, providing high-speed internet access. However, their firmware often contains vulnerabilities or deliberately embedded software implants, such as backdoors, which creates risks for corporate and home networks. The article presents a method for developing a firmware scanner capable of automating the detection of malicious implants. The tool is implemented in Python3 and combines hash comparison, static analysis, and environment emulation. Testing demonstrated the scanner's effectiveness in detecting modified firmware, including reverse-shell integration and suspicious references to system files. The results emphasize the necessity of implementing such solutions to ensure the security of IoT devices amid growing cyber threats.

Keywords: PON, network security, audit, router, static analysis

Введение

Оптические роутеры (PON) стали неотъемлемой частью современных сетей, обеспечивая высокоскоростной доступ в интернет для миллионов пользователей — от домашних хозяйств до крупных корпораций [1]. По данным Mordor Intelligence доля PON-устройств в структуре глобальных сетей активно возрастает, что связано с их высокой пропускной способностью и низкой задержкой [2]. Однако

массовое распространение этих устройств привело к повышенному интересу со стороны злоумышленников. Согласно актуальной статистике Positive Technologies на конец 2024 года большинство атак было направлено на серверы и сетевое оборудование, куда и входят атаки на оптические роутеры [3,4].

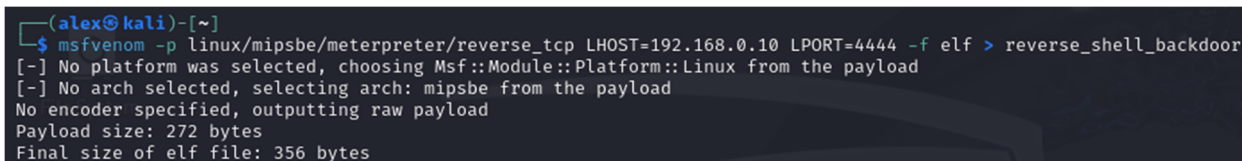
Особую опасность представляет цепочка поставок [5]. Производители и сторонние разработчики часто внедряют в прошивки скрытые функциональные элементы, такие как бэкдоры [6], для удаленного управления устройствами. Например, в некоторых роутерах TP-Link были обнаружены уязвимости, позволяющие реализовать удаленное выполнение команд [7]. Подобные случаи демонстрируют, что даже легальное оборудование может содержать преднамеренные закладки, что ставит под угрозу конфиденциальность данных и устойчивость сетей [8,9].

Разработанный сканер прошивок решает эти проблемы за счет комбинации методов проверки целостности и статического анализа. Инструмент позволяет обнаруживать сигнатуры бэкдоров и подозрительные системные вызовы, предупреждать пользователей о рисках использования уязвимых версий.

Методы и методики

Разработанный сканер прошивок базируется на комплексном подходе, объединяющем проверку целостности, статический анализ. Проверка целостности осуществляется через сравнение хэша SHA-256 анализируемой прошивки со значениями полученными с сайта производителя, что позволяет выявить несанкционированные изменения [10]. Статический анализ использует YARA-правила для поиска сигнатур бэкдоров, таких как подозрительные строки (например, /etc/passwd) или системные вызовы (execve, system) [11,12].

В качестве демонстрации работы сканера будет загружен бэкдор в прошивку оптического роутера, при этом внедрение бэкдора в прошивку включает несколько этапов. На первом этапе злоумышленник генерирует вредоносную нагрузку, например, reverse-shell, с использованием инструментов типа msfvenom (рис. 1) [13,14].



```
(alex@kali)-[~]
└─$ msfvenom -p linux/mipsbe/meterpreter/reverse_tcp LHOST=192.168.0.10 LPORT=4444 -f elf > reverse_shell_backdoor
[-] No platform was selected, choosing Msf::Module::Platform::Linux from the payload
[-] No arch selected, selecting arch: mipsbe from the payload
No encoder specified, outputting raw payload
Payload size: 272 bytes
Final size of elf file: 356 bytes
```

Рис. 1. Создание полезной нагрузки

Для архитектуры MIPS, характерной для PON-роутеров, создается ELF-файл, который затем интегрируется в прошивку через фреймворки типа Router Post-Exploitation Framework, либо вручную [15,16,17]. Данный инструмент требует указания целевой прошивки и пути к вредоносному файлу. После модифи-

кации прошивка перепаковывается и распространяется через неофициальные источники или подмену легальных обновлений.

Результаты

Сканирование оригинальной прошивки, полученной с сайта производителя, продемонстрировало, что прошивка, действительно получена с сайта производителя, так как прошла проверку сравнения по хэш-сумме. После распаковки файловой системы сканер вычислил хэш SHA-256 прошивки и сравнил его со значением из базы данных [18]. Совпадение хэша подтвердило отсутствие модификаций, о чем свидетельствовало сообщение: «Проверено! Прошивка не модифицирована и соответствует официальной» (рис. 2). Это указывает на то, что прошивка сохранила целостность и не содержит несанкционированных изменений.

```
diplom@diplom:~/Desktop/diplom_final$ python3 main.py -h
usage: main.py [-h] [--url URL] [--firmware FIRMWARE] [--download_folder DOWNLOAD_FOLDER] [--hash_file HASH_FILE] [--update]

Анализатор прошивок и сканер обновлений

options:
  -h, --help            show this help message and exit
  --url URL              Ссылка для сбора файлов с прошивками
  --firmware FIRMWARE    Путь к файлу с прошивкой для анализа
  --download_folder DOWNLOAD_FOLDER
                        Папка для загрузки файлов
  --hash_file HASH_FILE  Файл с хэш-суммами прошивок
  --update              Обновление базы прошивок и хэшей
diplom@diplom:~/Desktop/diplom_final$ python3 main.py --firmware original_firmware.fw.bin
[+] Проверка пройдена: прошивка соответствует официальной версии 'ntu-52w-3.0.3-build1511.fw.bin'
diplom@diplom:~/Desktop/diplom_final$
```

Рис. 2. Проверка оригинальной прошивки

При анализе модифицированной прошивки сканер выявил несколько критических аномалий [19]. В процессе статического анализа были обнаружены файл `reverse_shell_backdoor` с помощью YARA правил по сигнатуре, соответствующей полезной нагрузке `msfvenom`, внедрённый в прошивку [20]. Сканер отметил эти компоненты как потенциально опасные и выдал предупреждение: «Проверка не пройдена! Будьте осторожны при использовании данной прошивки» (рис. 3).

```
diplom@diplom:~/Desktop/diplom_final$ python3 main.py --firmware 123.bin
[!] Хэш не найден в базе. Запуск анализа...
[+] Прошивка распакована
[+] Загружено YARA правил для анализа: 3
[!] КРИТИЧЕСКИЕ НАХОДКИ:
  ● YARA Rule: Backdoor
    File: [description="Detect ELF reverse shell backdoor from signature",author="Alexandr Zonov",date="2024-12-12",hash=""] /tmp/fw_analysis/_123.bin.extracted/iso-root/IMAGE_PA/_SQUASHFS.extracted/squashfs-root/bin/reverse_shell_backdoor
    Metadata: N/A
  ● YARA Rule: Custom_Backdoor
    File: [description="Detects msfvenom MIPS reverse shell",author="Alexandr Zonov"] /tmp/fw_analysis/_123.bin.extracted/iso-root/IMAGE_PA/_SQUASHFS.extracted/squashfs-root/bin/reverse_shell_backdoor
    Metadata: N/A
  🚨 Подозрительные системные файлы:
    /tmp/fw_analysis/_123.bin.extracted/iso-root/IMAGE_PA/_SQUASHFS.extracted/squashfs-root/.lstripped
[+] Очистка завершена
[!] Внимание! Прошивка не прошла проверку подлинности
```

Рис. 3. Результат сканирования модифицированной прошивки

Заключение

Исследование и устранение уязвимостей в сетевых устройствах, особенно в PON-роутерах, играют ключевую роль в обеспечении информационной безопасности современных сетей. Эти устройства, являясь основой высокоскоростных оптоволоконных инфраструктур, требуют специализированных подходов к анализу и защите из-за их широкой распространенности и уязвимости к целенаправленным атакам. Разработанный сканер прошивок, сочетающий методы проверки целостности и статического анализа, демонстрирует высокую эффективность в обнаружении бэкдоров, подозрительных системных вызовов и модификаций, что подтверждено тестированием на модифицированной прошивке, созданной в качестве примера для демонстрации работы сканера.

Инструмент позволяет не только выявлять известные угрозы, такие как reverse-shell, но и минимизировать риски, связанные с цепочкой поставок и отсутствием своевременных обновлений.

Перспективы работы включают расширение базы хэшей прошивок, создание и добавление новых YARA правил, а также анализ модифицированных прошивок с целью определения новых вариаций полезных нагрузок, используемых злоумышленниками. Реализация этих шагов станет значимым вкладом в глобальную защиту сетевой инфраструктуры, обеспечивая устойчивость к кибератакам в условиях цифровизации и роста числа IoT-устройств.

Таким образом, предложенное решение не только повышает уровень безопасности PON-роутеров, но и формирует основу для стандартизации подходов к анализу прошивок, что способствует укреплению доверия к критически важным компонентам сетевой экосистемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зингеренко Ю. А. Пассивные оптические сети xPON. – Текст: непосредственный / Ю. А. Зингеренко. – СПб.: Университет ИТМО, 2020. – 115 с.
2. Анализ размера и доли рынка пассивных оптических сетей – тенденции роста и прогнозы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/pasive-optical-network-pon-equipement-market>
3. Зловред в роутере: скрытая угроза [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/router-malware/33319/>
4. Актуальные киберугрозы: IV квартал 2024 года — I квартал 2025 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-iv-kvartal-2024-goda-i-kvartal-2025-goda>
5. Заметные атаки на цепочки поставок в 2024 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/supply-chain-attacks-in-2024/39004/>
6. Нефёдова М. В маршрутизаторах FiberHome Networks обнаружено более 20 бэкдоров [Электронный ресурс] // Журнал «Хакер». – URL: <https://hacker.ru/2021/01/18/fiberhome-networks-backdoors/>
7. TP-Link Router Remote Code Execution Vulnerability [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hkcert.org/security-bulletin/tp-link-router-remote-code-execution-vulnerability>
8. Шубин В. В. Информационная безопасность волоконно-оптических систем. - Текст: непосредственный / В. В. Шубин – Саров, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015. – 257 с.

9. Anderson R. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. – Текст: непосредственный / R. Anderson – Wiley, 2008. – 1232 с.
10. US Secure Hash Algorithms (SHA and SHA-based HMAC and HKDF) [Электронный ресурс]. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc6234/>
11. Монаппа К. А. Анализ вредоносных программ. – Текст: непосредственный / К. А. Монаппа. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 452 с.
12. Обзор правил YARA: изучение инструмента исследования вредоносного ПО [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/varonis/articles/584618/>
13. Kennedy D. Metasploit: The Penetration Tester's Guide. – Текст: непосредственный / D. Kennedy – San Francisco, 2011. – 328 с.
14. Что такое Netcat? Bind Shell и Reverse Shell в действии [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/657613/>
15. Харрис Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. – Текст: непосредственный / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. – СПб, 2016. – 672 с.
16. Что такое ELF и как он работает в Linux? [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/784534/>
17. RouterSploit Framework [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/threat9/router-sploit>
18. Хеш-функция, что это такое? [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/534596/>
19. Обнаружение аномального поведения программ для дальнейшего использования при решении задачи защиты от вредоносного ПО [Электронный ресурс]. URL: <https://www.okbsapr.ru/library/links/obnaruzhenie-anomalnogo-povedeniya-programm-dlya-dalneyshego-ispolzovaniya-pri-reshenii-zadachi-zashch/>
20. Исследование file signature header [Электронный ресурс]. URL: <https://scilead.ru/article/6926-issledovanie-file-signature-header>

© А. С. Зонов, А. В. Шабурова, 2025

А. В. Ильницкая¹✉, Н. В. Шестаков^{1,2}, Г. Н. Герасимов^{1,2}

Поиск наиболее информативных измерений в геодинимической ГНСС-сети с целью определения параметров очага землетрясения (на примере Нефтегорского землетрясения 1995 года)

¹Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток, Российская Федерация

²Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация
email: ilnitskaya.av@dvfu.ru

Аннотация. В статье рассмотрена методика поиска наиболее информативных измерений в геодинимических геодезических ГНСС-сетях с целью определения параметров очага землетрясения с заданной точностью. В качестве математической модели, связывающей наземные наблюдения с параметрами очага, была выбрана широко применяемая в геофизике модель Ю. Окады, которая описывает деформации земной коры, вызванные смещениями вдоль некоторой дислокационной плоскости. Оценка точности параметров деформационной модели производилась по методу наименьших квадратов. Поиск измерений в сети, влияющих на точность определяемых параметров, осуществлялся по рекуррентным формулам. Описанный алгоритм поиска и отбора наиболее информативных измерений апробирован на примере Нефтегорского землетрясения 1995.

Ключевые слова: оптимальное проектирование сетей, модель Окады, метод наименьших квадратов, рекуррентное уравнивание, ГНСС, глобальные навигационные спутниковые системы

A. V. Ilnitskaya¹✉, N. V. Shestakov^{1,2}, G. N. Gerasimov^{1,2}

Search for the most informative measurements in the geodynamic GNSS network in order to determine the earthquake source parameters (on example of the 1995 neftegorsk earthquake)

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

²Institute of Applied Mathematics FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation
email: ilnitskaya.av@dvfu.ru

Abstract. This article discusses a technique for searching for the most informative measurements in geodynamic geodetic GNSS networks in order to determine the earthquake source parameters with a given accuracy. The Y. Okada model, widely used in geophysics, was chosen as a mathematical model linking ground-based observations with the parameters of the source. Okada, which describes the deformations of the earth's crust caused by displacements along a certain dislocation plane. The accuracy of the parameters of the deformation model was estimated using the least squares method. The search for measurements in the network that affect the accuracy of the determined parameters was carried out using sequential adjustment. The described algorithm for searching and selecting the most informative measurements has been tested using the example of the Neftegorsk earthquake 1995.

Keywords: optimal network design, Okada model, least squares method, sequential adjustment, GNSS (global navigation satellite systems)

Введение

В современных науках о Земле широкое применение нашли математические алгоритмы для моделирования деформаций земной поверхности, вызванных землетрясениями или другими геофизическими процессами как в локальном, так и в глобальном масштабах. В этой связи возникает интерес в использовании этих моделей для оптимального проектирования геодинамических ГНСС-сетей.

Цель работы заключается в применении алгоритма поиска наиболее информативных измерений в геодинамической ГНСС-сети для определения параметров очага землетрясения с заданной точностью (модель Окады). Выявление подобных измерений из общего количества в сети позволит значительно сократить количество измерений, а также сосредоточить усилия на выполнении наиболее важных измерений, что позволит снизить затраты на полевые наблюдения. Это особо актуально, если существуют какие-либо ограничения (временные или финансовые) в период выполнения работ.

Методика исследования

В общем виде деформационная модель представляет собой функциональную связь между деформационными параметрами (например, параметрами очага землетрясения) и величиной подвижек пунктов земной поверхности, вызванных непосредственно геодинамическим процессом. Запишем в общем виде эту связь в виде выражения:

$$d = B \cdot e, \quad (1)$$

где d – вектор измеренных подвижек пунктов на земной поверхности, B – матрица коэффициентов уравнений, связывающих измеренные подвижки пунктов сети и оцениваемые деформационные параметры; e – вектор определяемых параметров выбранной деформационной модели [1].

Оценка точности параметров деформационной модели производится по методу наименьших квадратов (МНК). Точность деформационных параметров характеризуется диагональными элементами ковариационной матрицы K_e . Ковариационная матрица связана с матрицей весовых коэффициентов выражением:

$$K_e = \mu^2 \cdot Q_e, \quad (2)$$

где μ – среднеквадратическая ошибка единицы веса.

На стадии проектирования можно принять $\mu = 1$, поэтому в дальнейших расчетах будем считать $K_e \cong Q_e$. Если принять, что вид деформационной модели и ее параметры, состав измерений сети и их точность не изменяются со временем, то можно положить, что $B = const$ и $Q = const$, где Q – ковариационная матрица измеренных смещений наземных пунктов, характеризующая точность их определения.

Тогда Q_e будет вычислена

$$Q_e = (B^T Q^{-1} B)^{-1}. \quad (3)$$

Элементы матрицы B могут быть получены путем линеаризации функциональной модели (модели Окады), которая математически строго для землетрясений сдвигового и сбросового типа записывается в виде [2]:

$$u_x = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R+\eta)} + \arctg \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \alpha \right] - \frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{q}{R} - I_3 \sin \alpha \cos \alpha \right], \quad (4)$$

$$u_y = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\tilde{y}q}{R(R+\eta)} + \frac{q \cos \alpha}{R+\eta} + I_2 \sin \alpha \right] \dots - \frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\tilde{y}q}{R(R+\xi)} + \cos \alpha \arctg \frac{\xi \eta}{qR} - I_1 \sin \alpha \cos \alpha \right], \quad (5)$$

$$u_z = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\tilde{d}q}{R(R+\eta)} + \frac{q \sin \alpha}{R+\eta} + I_4 \sin \alpha \right] \dots - \frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\tilde{d}q}{R(R+\xi)} + \sin \alpha \arctg \frac{\xi \eta}{qR} - I_5 \sin \alpha \cos \alpha \right], \quad (6)$$

где u_x, u_y, u_z – смещения пунктов сети на земной поверхности.

Аналитические выражения (4), (5) и (6) представляют собой довольно громоздкие формулы с большим количеством переменных, связанных функционально с параметрами очага землетрясения и здесь приведены в сжатом виде. Подробно они описаны в статьях [2, 3].

Данная модель разработана Я. Окадой в 1985 году и в настоящее время широко используется в геофизике для описания деформаций земной коры, вызванной смещениями вдоль некоторой дислокационной плоскости. Схематически ее модель очага представлена на рисунке 1 (N – направление на север (ось сонаправлена с OY), Σ – плоскость сейсморазрыва).

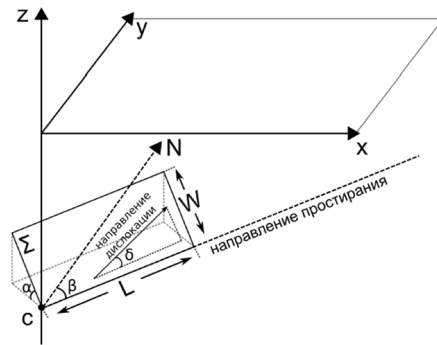


Рис. 1. Геометрическое описание модели очага землетрясения [4]

В общем виде модель Окады можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} u_x, u_y, u_z \end{bmatrix}^T = f(\alpha, \beta, \delta, C, L, W, U), \quad (7)$$

где α – угол падения плоскости сейсмодислокации; β – азимут простираения плоскости; δ – направление подвижки в плоскости; C – глубина гипоцентра; L – длина сейсмодислокационной плоскости; W – ее ширина; U – величина смещения.

В своем исследовании в качестве определяемых параметров мы примем компоненты величины смещения в очаге U :

$$U_1 = U \cos \delta, \quad (8)$$

$$U_2 = U \sin \delta, \quad (9)$$

где U_1 – компонента вектора подвижки в очаге по направлению простираения; U_2 – по падению; δ – угол направления подвижки; U – величина смещения по направлению δ .

Остальные параметры очага ($\alpha, \delta, \beta, C, L, W$) примем, как известные из источника [5].

Поскольку в нашем решении два определяемых параметра, то ковариационная матрица деформационных параметров Q_e будет в данном случае иметь размерность 2×2 , а ее диагональные элементы будут равны квадратам среднеквадратических ошибок $m_{U_1}^2$ и $m_{U_2}^2$.

Оценить точность определения параметров геодинамической модели (матрицу Q_e) можно, используя широко известные формулы рекуррентного уравнивания [6, 7].

Допустим, что геодезическая сеть, содержащая $i-1$ измерений, была уравнена параметрическим способом и получен вектор неизвестных X_{i-1} и матрица обратных весов Q_{i-1} . В последствии к сети возникла необходимость добавить дополнительную группу измерений i с соответствующей системой уравнений поправок

$$V_i = A_i \Delta X_i + L_i, \quad (10)$$

где V_i – вектор поправок к измеренным величинам; A_i – матрица коэффициентов уравнений поправок; ΔX_i – вектор поправок к параметрам; L_i – вектор свободных членов.

Матрицу коэффициентов нормальных уравнений можно записать в виде

$$R_i = R_{i-1} + A_i^T P_i A_i, \quad (11)$$

и учитывая определив матрицу обратных весов $R_i^{-1} = Q_i$:

$$Q_i = Q_{i-1} - Q_{i-1} A_i^T R_{i-1}^{-1} A_i Q_{i-1}, \quad (12)$$

где P – весовая матрица вектора измерений i .

Рекуррентные формулы для расчета матрицы Q_e можно использовать для определения величины вклада каждого измерения (геодезического пункта) в общую оценку точности деформационных параметров путем их последовательного добавления и последующего вычисления Q_e .

При включении в деформационную сеть дополнительного измерения с номером j , диагональные элементы ковариационной матрицы деформационных параметров Q_e уменьшаются на величины

$$\Delta q_{ii}^e(j) = \Delta q_{ii}^e(j-1) - \Delta q_{ii}^e(j), i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

где $\Delta q_{ii}^e(j-1)$ и $\Delta q_{ii}^e(j)$ – диагональные элементы матрицы Q_e до включения в схему сети j -го измерения и после его включения соответственно; k – количество определяемых параметров; n – количество всех возможных измерений в проектируемой сети.

Анализируя величины $\Delta q_{ii}^e(j)$ можно делать выводы о вкладе каждого конкретного измерения (пункта) сети в общую точность оценивания определяемых параметров и таким образом отбирать наиболее информативные [8]. После отбора измерения необходимо вычислить ковариационную матрицу деформационных параметров Q_e по рекуррентным формулам (11), (12) с учетом отобранного измерения. Критерий отбора математически можно записать в виде:

$$m_i \leq m_{i, \text{зад}}, i = 1, \dots, k, \quad (14)$$

где k – количество определяемых деформационных параметров; m_i – среднеквадратическая ошибка i -го деформационного параметра; а $m_{i, \text{зад}}$ – требуемая точность его получения [9].

Результаты

Мы применили вышеописанный алгоритм отбора наиболее информативных измерений в геодинимической ГНСС-сети, использованной для определения параметров очага Нефтегорского землетрясения, которое произошло 28 мая 1995 г. в городе Нефтегорск на севере острова Сахалин. Основные параметры очага приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры землетрясения

Координаты		L, км	W, км	C, км	$\delta, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	U, м
с.ш., $^\circ$	в.д., $^\circ$							
53,010	143,990	40	27	0,0	200	80	172	4,3

Механизм землетрясения относится к сдвиговому типу, что характерно для севера Сахалина, расположенного в зоне взаимодействия Охотской и Евразийской плит. Расположение очага землетрясения показано на рис. 2.

В нашем исследовании была использована геодинимическая сеть, состоящая из 20 пунктов (общее число наблюдений $n=60$). Схема их расположения приведена на рис. 3.

Поскольку весовая матрица измеренных величин нам была неизвестна, то для уравнивания мы приняли измерения некоррелированными, а веса назначили обратно пропорционально квадратам среднеквадратических ошибок: $m_x=m_y=3$ см, а $m_z=6$ см.

Расположение пунктов ГНСС-сети относительно проекции дислокационной плоскости приведены на рис. 4. Географические координаты (широта и долгота) пунктов пересчитаны в топоцентрические (East-North-Up), где за начало отсчета принят геометрический центр плоскости дислокации. Ее проекция на поверхность показана в виде черного прямоугольника

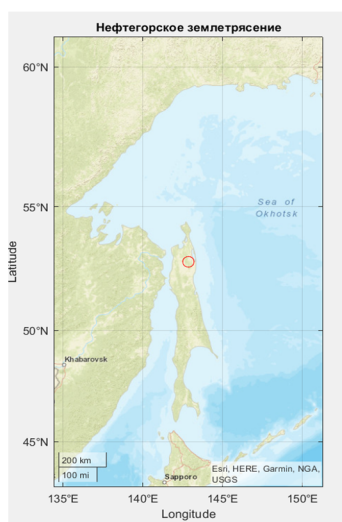


Рис. 2 Местоположение очага Нефтегорского землетрясения.

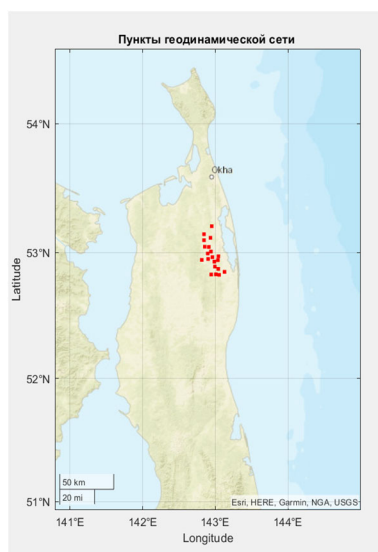


Рис. 3 Схема расположения пунктов ГНСС-сети.

Вектор деформационных параметров будет равен вектору $e = [U_1 \ U_2]^T$, а отобранные наиболее информативные измерения должны удовлетворять условию

$$\begin{cases} m_{U_1} \leq m_{U_1, \text{зад}} \\ m_{U_2} \leq m_{U_2, \text{зад}} \end{cases}, \quad (15)$$

где m_{U_1} и m_{U_2} – среднеквадратические ошибки параметров U_1 и U_2 , обеспечиваемые оптимальным выбором измерений в сети; $m_{U_1, \text{зад}}$ и $m_{U_2, \text{зад}}$ – заданные среднеквадратические ошибки определения U_1 и U_2 .

Для определения $m_{U_1, \text{зад}}$ и $m_{U_2, \text{зад}}$ мы вычислили по формуле (3) максимально достижимую точность определения параметров U_1 и U_2 для данной сети с учетом всех наблюдений n . Эти значения составили $m_{U_1, \text{max}} = 0,026 \text{ м}$ и $m_{U_2, \text{max}} = 0,027 \text{ м}$ соответственно. Следовательно, значения заданных среднеквадратических ошибок должны превышать максимальные.

Отбор наиболее информативных измерений выполнялся до тех пор, пока не будет достигнуто соотношение (15).

Установим $m_{U_1, \text{зад}} = m_{U_2, \text{зад}} = 0,03 \text{ м}$. В результате использования оптимизационного алгоритма было отобрано 11 пунктов, схема расположения которых указана на рисунке 5. Далее примем $m_{U_1, \text{зад}} = m_{U_2, \text{зад}} = 0,05 \text{ м}$. Расчеты указали на 3 пункта сети, наблюдений которых будет достаточно для получения смещения в очаге с указанной точностью (рисунок 6).

Алгоритм поиска и отбора наиболее информативных измерений программно реализован в ПО Matlab.

Заключение

Приведенные в предыдущем разделе результаты применения алгоритма поиска наиболее информативных измерений в геодинамической ГНСС-сети, иллюстрируют эффективность использования алгоритма, значительно снижая количество наблюдаемых пунктов при условии сохранения необходимой точности определяемых параметров. В случае, когда требовалось найти количество оптимальных пунктов в сети при сохранении точности определяемых параметров, сопоставимой с максимально достижимой ($m_{U_1, \text{зад}} = m_{U_2, \text{зад}} = 0,03 \text{ м}$), количество измерений сокращалось практически в два раза. Если критерии отбора ослаблялись ($m_{U_1, \text{зад}} = m_{U_2, \text{зад}} = 0,05 \text{ м}$), то количество отобранных измерений составило всего три. Это в свою очередь ведет к значительному сокращению объемов полевых работ, особенно в условиях ограниченности периода времени, выделенного на наблюдения, или под действием каких-то других факторов.

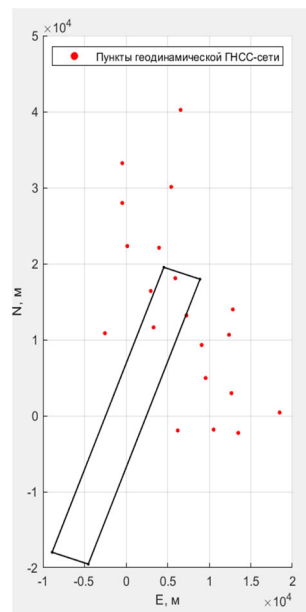


Рис. 4 Схема расположения пунктов ГНСС-сети

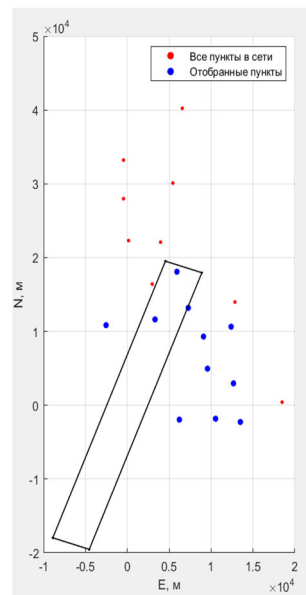


Рис. 5 Наиболее информативные пункты при $m_{зад} = 0,03 м$

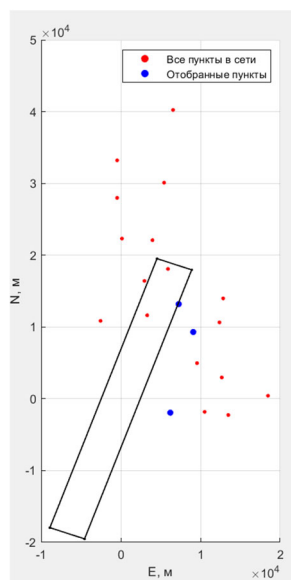


Рис. 6 Наиболее информативные пункты
при $m_{зад} = 0,05м$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасименко М.Д., Касахара М., Шестаков Н.В. Оптимальное проектирование схемы деформационных геодезических сетей // Изв.ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2002, №4, С. 21-35.
2. Okada Y., Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol 75. - №4, pp. 1135-1154, 1985.
3. Gapeev M. I. Estimating the increased deformations areas that occur during the preparation of Kamchatka earthquakes. Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki. 2022, Vol – 41. - № 4, 32-46.
4. Шестаков Н. В., Нечаев Г. В., Кишкина А. К., и др. Оценка влияния землетрясений на смещения поверхности острова/Сахалин за 1990 –2020 гг. и необходимости его учета для ГНСС-позиционирования/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 113–130.
5. Маркузе Ю. И. Основы уравнильных вычислений: Учеб. пособие для вузов – М.: Недра, – 1990. – 240 с.
6. Маркузе Ю. И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей. М., Недра, 1982, 191 с.
7. Шестаков Николай Владимирович. Оптимальное проектирование деформационных GPS/ГЛОНАСС сетей : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 Владивосток, 2005 159 с. РГБ ОД, 61:06-5/511.
8. Шестаков Н. В. Оптимальное проектирование деформационных GNSS сетей / Н. В. Шестаков, М. Д. Герасименко; Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Ин-т прикл. математики. – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 132 с.

© А. В. Ильницкая, Н. В. Шестаков, Г. Н. Герасимов, 2025

А. Е. Качурин¹✉, Т. Н. Хацевич¹

Разработка термостабильных малогабаритных ИК объективов с увеличенными полями зрения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: quartermaster1984@mail.ru

Аннотация. Актуальность поиска схемных решений инфракрасных (ИК) объективов обусловлена основными направлениями совершенствования тепловизионных камер: минимизацией массогабаритных параметров при высоком качестве формируемого изображения; повышением угловых полей в пространстве предметов до широкоугольных и сверхширокоугольных значений; обеспечение возможности работы в широком диапазоне температур эксплуатации, повышением технологичности. Целью статьи является представление результатов ранее начатых исследований по применимости используемого схемного решения для разработки группы объективов с повышенными угловыми полями. Исследование проводилось методами компьютерного проектирования оптических систем. Показано, что атермальные оптические системы ИК объективов могут быть созданы при использовании всего двух материалов – селенида цинка и халькогенидного стекла и обеспечить при этом отсутствие терморасфокусировки при креплении линз промежуточными кольцами в корпусе из алюминиевого сплава. Представлена группа из трех объективов с фокусными расстояниями 50, 20 и 10 мм и угловыми полями от 10 до 50 градусов по диагонали кадра.

Ключевые слова: малогабаритные объективы, атермализованные объективы, атермальные объективы, пассивная атермализация

A. E. Kachurin¹✉, T. N. Khatsevich¹

Development of thermostable small-size IR lenses with enlarged fields of view

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: quartermaster1984@mail.ru

Abstract. The relevance of searching for circuit solutions of infrared (IR) lenses is conditioned by the main directions of improvement of thermal imaging cameras: minimization of mass and dimensional parameters at high quality of the formed image; increase of angular fields in the space of objects up to wide-angle and super-wide-angle values; providing the possibility of operation in a wide range of operating temperatures, increasing manufacturability. The purpose of the article is to present the results of the previously started research on the applicability of the used circuit solution for the development of a group of lenses with increased angular fields. The research was carried out by methods of computer-aided design of optical systems. It is shown that athermal optical systems of IR lenses can be created using only two materials - zinc selenide and chalcogenide glass - and ensure the absence of thermo-rasfocusing when lenses are attached by intermediate rings in an aluminum alloy housing. A group of three lenses with focal lengths of 50, 20 and 10 mm and angular fields from 10 to 50 degrees on the diagonal of the frame is presented.

Keywords: small-sized lenses, athermalized lenses, athermal lenses, passive athermalization

Введение

В связи с бурным развитием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в последние годы резко возросла потребность в малогабаритных камерах для визуализации наблюдаемой картины при любых погодных условиях. Преимущества, присущие наблюдению изображения объектов в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра, способствовали тому, что определенная часть БПЛА снабжается тепловизионными камерами. Возможность обеспечить в них малые массогабаритные размеры, высокое качество изображений, соответствующее возможностям современных матричных приемников ИК излучений, эффективность работы в широком диапазоне температур эксплуатации в первую очередь определяется свойствами и характеристиками ИК объективов. К числу основных направлений совершенствования современных ИК объективов для тепловизионных камер можно отнести следующие: минимизация массогабаритных параметров при высоком качестве формируемого изображения; создание объективов с повышенными угловыми полями в пространстве предметов, в том числе широкоугольных и сверхширокоугольных; обеспечение атермализации ИК объективов, повышение технологичности [1 – 5]. Вышеуказанные требования применительно к ИК объективам для тепловизионных камер БПЛА выступают как комплексные.

Целью статьи является представление результатов ранее начатых исследований [6], а именно: исследование применимости схемного решения [7] для разработки группы объективов с повышенными угловыми полями. Исследование проводилось методами компьютерного проектирования оптических систем.

Методы и материалы

Принцип обеспечения термостабильности объективов заключается в том, что в конструкции объектива обеспечивается соответствие термооптических aberrаций положения объектива и смещения плоскости чувствительной площадки матричного приемника излучений, вызванных температурными деформациями механических деталей его крепления. При равенстве термооптической aberrации положения объектива смещению плоскости чувствительной площадки матричного приемника излучений терморасфокусировка отсутствует. Если это равенство обеспечивается без введения дополнительных подвижек объектива, его отдельных линз или приемника излучений, то термостабильность является пассивной: такие схемы называют атермальными (термостабильными). Если для восстановления качества изображения используются дополнительные подвижные элементы в конструкции объектива, то говорят об активной термокомпенсации.

Для обеспечения пассивной термостабильности объективов применяют два основных метода: метод прямой пассивной атермальности и использование термокомпенсаторов. Иногда метод использования термокомпенсаторов выделяют в отдельный метод. Поскольку метод использования термокомпенсаторов достигается за счет увеличения продольных или поперечных размеров оправ объек-

ективов [например, 4], то с целью уменьшения массогабаритных показателей ИК объективов предпочтительным будет являться метод прямой пассивной атермальности. Именно такой метод расчета и используется в настоящем исследовании. Принципиальное схемное решение базируется на трехлинзовой схеме, первые две линзы которой образуют афокальную систему, а третья – выполняет фокусирующую роль (рис. 1).

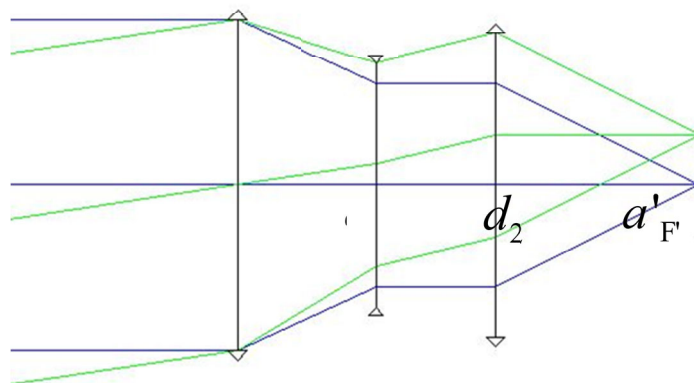


Рис. 1. Схемное решение объектива в тонких компонентах

На рис.1 использованы следующие обозначения: φ_1 , φ_2 и φ_3 – относительные оптические силы линз; d_1 , d_2 – расстояния между линзами; h_1 , h_2 , h_3 – высоты первого параксиального луча на линзах; $a'_{F'}$ – задний фокальный отрезок объектива.

Для повышения технологичности предполагалось, что положительные линзы в схеме выполнены из одного материала. Использованы традиционные условия нормировки: оптическая сила объектива $\varphi = 1$; высота первого параксиального луча на первой линзе $h_1 = 1$. В [7] найдено, что для одновременного обеспечения требований ахроматизации, пассивной атермализации, телецентричности хода главных лучей в пространстве изображений в схеме должны соблюдаться следующие соотношения:

$$\varphi_2 = -\gamma\varphi_1; \quad \varphi_3 = \gamma; \quad h_2 = h_3 = \frac{1}{\gamma}; \quad d_1 = \frac{(\gamma - 1)}{\varphi_1\gamma}; \quad d_2 = \frac{(\varphi_1\gamma - \gamma + 1)}{\varphi_1\gamma^2}; \quad a'_{F'} = \frac{1}{\gamma}; \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{v_1}{v_2} - \frac{1}{\varphi_1}; \quad \alpha_K = \frac{V_2 - V_1 v_1/v_2}{v_1/v_2 - 1}, \quad (2)$$

где γ – угловое увеличение блока линз 1, 2; α_k – температурный коэффициент линейного расширения материала корпуса и промежуточных колец в объективе; ν_1, ν_2 – коэффициенты средней дисперсии материалов линз; V_1, V_2 – термооптические постоянные материалов линз.

Требование по снижению массы и себестоимости объективов тепловизионных камер ориентирует разработчиков активно применять в конструкциях алюминиевые сплавы. Поэтому в основе разработки атермализованных объективов был положен поиск комбинаций материалов, оптических сил линз, входящих в объектив, при условии, что промежуточные кольца и оправы объективов выполнены из алюминиевых сплавов.

Анализ математической модели (1), (2) показал, что среди материалов, прозрачных в ИК области спектра, можно найти пару материалов, которая может быть использована для пассивной атермализации трехлинзового объектива в корпусе из алюминиевого сплава. Характеристики таких материалов приведены в табл. 1 [6, 8].

Таблица 1

Оптические материалы для создания атермальной схемы

Материал	$N_{(10 \text{ мкм})}$	$\nu_{\text{ср}}$	$dn/dT (*10^{-6} \text{ 1/градус})$	$A (*10^{-6} \text{ 1/градус})$	$V (*10^{-6} \text{ 1/градус})$
ZnSe	2,4064	57,471	61,0	7,6	35,772
IRG26	2,7781	159,948	32,2	20,8	-2,691

В таблице использованы следующие обозначения: $n_{(10 \text{ мкм})}$ – показатель преломления для длины волны 10 мкм; $\nu_{\text{ср}}$ – коэффициент средней дисперсии материала для диапазона длин волн от 8 до 12 мкм; dn/dT – температурное приращение показателя преломления; α – коэффициент линейного расширения материала; V – термооптическая постоянная материала.

Используя найденную пару материалов – селенид цинка и халькогенидное стекло, методами компьютерного моделирования были проведены расчеты трех ИК объективов: ОБ50/1,1; ОБ20/1,1; ОБ10/1,2. Обозначения объективов простроены по схеме «фокусное расстояние / диафрагменное число». Все объективы были ориентированы на применение в спектральном диапазоне от 8 до 12 мкм совместно с неохлаждаемым матричным приемником излучений формата 640x480, размер пикселя 12 мкм. При компьютерном моделировании определялось наименьшее количество асферических поверхностей, при котором коэффициент передачи контраста на частотно-контрастной характеристике (ЧКХ) на частоте Найквиста в центре поля зрения составлял не менее 0,8 от ЧКХ безаберра-

ционного объектива (критерий по Гопкинсу) во всем диапазоне температур эксплуатации.

Результаты и обсуждения

Сводная информация о характеристиках трех разработанных оптических систем ИК объективов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики разработанных ИК объективов

	ОБ50/1,1	ОБ20/1,1	ОБ10/1,2
Количество линз	3	3	4
Материал линзы 1	IRG26	IRG26	IRG26
Материал линзы 2	ZnSe	ZnSe	ZnSe
Материал линзы 3	IRG26	IRG26	IRG26
Материал линзы 4	-	-	IRG26
Количество асферических поверхностей	2	3	4
$\alpha_k, \cdot 10^{-6} \text{ градус}^{-1}$	22	22	22
$\lambda_f, \text{ нм}$	8-12	8-12	8-12
$f, \text{ мм}$	49,997	20	10,1
Количество пикселей приемника излучений (размер пикселя, мкм)	640x480(12)	640x480(12)	640x480(12)
Диафрагменное число К	1,1	1,1	1,2
Поле зрения по горизонтали и вертикали, градус	7,3x8,4	21,72x16,38	41,4x31,6
Поле зрения по диагонали кадра, градус	11,6	27,0	50,6
Задний фокальный отрезок $S'_F, \text{ мм}$	4,83	11,97	5,1
Дисторсия, %	0,02	-1,17	-1,94
ЧКХ для 20 мм^{-1}	0,66	0,61	0,67
ЧКХ для 30 мм^{-1}	0,52	0,45	0,52
ЧКХ для 40 мм^{-1}	0,38	0,32	0,38
Габаритные размеры: диаметр х длина, мм	$\varnothing 50 \times 71,1$	$\varnothing 20 \times 32,3$	$\varnothing 15 \times 20,9$
Масса оптических деталей, г	90	9	6

Из табл. 2 следует, что с уменьшением фокусного расстояния увеличивается угловое поле в пространстве предметов, количество требуемых асферических поверхностей, уменьшаются массогабаритные размеры объектива. Во всех объективах использована одна пара оптических материала – халькогенидное стекло и селенид цинка при выполнении корпусных деталей и промежуточных колец из алюминиевого сплава.

Использование указанной пары материалов в оптических системах ИК объективов, характеристики которых приведены в табл. 3, подтверждает применимость схемного решения [7] для разработки группы объективов с повышенными угловыми полями, вплоть до границы между нормальными и широкоугольными объективами.

Если в объективе ОБ50/1,1 для коррекции аберраций широких пучков лучей применены две асферических линзы, то в объективах ОБ20/1,1 и ОБ10/1,2 все линзы являются асферическими. При разработке ОБ10/1,2 потребовалось усилить фокусирующий третий компонент введением дополнительной линзы с сохранением в объективе двух марок материалов. Оптическая функция дополнительной линзы связана с необходимостью коррекции полевых аберраций в короткофокусном объективе. Варианты с биасферическими линзами не рассматривались в силу их не технологичности. В целом, отмечается, что для обеспечения высокого качества изображения в ИК объективах с пассивной атермализацией при высоких требованиях по массогабаритным параметрам и коэффициенту пропускания (и соответственно малом числе линз) требуется использования асферических поверхностей.

Таким образом, результаты разработки подтверждают эффективность использования халькогенидных материалов для разработки пассивно атермализованных малогабаритных ИК объективов и коррелируют с выводами других источников [4, 5, 9].

Аналогично тому, как в некоторых каталогах объективов, например в [10], представляется оценка возможности объективов в составе оптико-электронного канала (прибора) для решения основных зрительных задач, в табл.3 представлены диаграммы, соответствующие трем зрительным задачам в соответствии с критерием Джонсона [11] для разработанных объективов. В качестве зрительных задач выбраны: обнаружение, распознавание, идентификация объектов с вероятностью 50 % и 95 %. Диаграммы составлены для двух объектов – ростовая фигура человека и автомобиль. Очевидно, что при использовании одного и того же размера приемника излучений по мере увеличения углового поля и уменьшения фокусного расстояния объектива дальность по Джонсону будет уменьшаться. Если условия применения тепловизионных камер предполагают наблюдение за объектами, находящимися на малых расстояниях, то повышение углового поля будет способствовать возможности наблюдения в пределах большей части пространства и повышению скорости обнаружения объективов. Таким образом, необходимость при разработке тепловизионных камер поиска баланса между противоречивыми требованиями по массогабаритным характеристикам и дальностью действия предполагает возможность для разработчиков иметь для выбора некоторую серию объективов.

Таблица 3

Дальность по Джонсону для разработанных объективов

Объектив	Объект	Дальность по Джонсону												
ОБ50/1,1	Ростовая фигура человека	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>165</td><td>329</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>565</td><td>1129</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>1976</td><td>3953</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	165	329	распознавание	565	1129	обнаружение	1976	3953
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	165	329												
распознавание	565	1129												
обнаружение	1976	3953												
	Автомобиль	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>416</td><td>833</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>1427</td><td>2855</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>4996</td><td>9991</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	416	833	распознавание	1427	2855	обнаружение	4996	9991
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	416	833												
распознавание	1427	2855												
обнаружение	4996	9991												
ОБ20/1,1	Ростовая фигура человека	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>66</td><td>132</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>226</td><td>452</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>791</td><td>1581</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	66	132	распознавание	226	452	обнаружение	791	1581
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	66	132												
распознавание	226	452												
обнаружение	791	1581												
	Автомобиль	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>167</td><td>333</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>571</td><td>1142</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>1998</td><td>3997</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	167	333	распознавание	571	1142	обнаружение	1998	3997
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	167	333												
распознавание	571	1142												
обнаружение	1998	3997												
ОБ10/1,2	Ростовая фигура человека	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>33</td><td>66</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>113</td><td>226</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>395</td><td>791</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	33	66	распознавание	113	226	обнаружение	395	791
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	33	66												
распознавание	113	226												
обнаружение	395	791												
	Автомобиль	<table><tr><th>Этап</th><th>вероятность 95%</th><th>вероятность 50%</th></tr><tr><td>идентификация</td><td>83</td><td>167</td></tr><tr><td>распознавание</td><td>285</td><td>571</td></tr><tr><td>обнаружение</td><td>999</td><td>1998</td></tr></table>	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%	идентификация	83	167	распознавание	285	571	обнаружение	999	1998
	Этап	вероятность 95%	вероятность 50%											
идентификация	83	167												
распознавание	285	571												
обнаружение	999	1998												

Заключение

Результаты разработки группы из трех ИК объективов с пассивной атермализацией подтверждают применимость подхода, предложенного в [7], для разработки объективов с угловыми полями, вплоть до границы между нормальными и широкоугольными объективами.

Разработана группа малогабаритных пассивно атермализованных ИК объективов, ориентированных для сопряжения с приемника излучений формата 640x480, с шагом пикселя 0,012 мм. Малые массогабаритные показатели объективов наряду с высоким качеством изображения, близким к дифракционному, а также возможность его сохранения при работе в диапазоне рабочих температур эксплуатации от минус 50 °С до 50 °С позволяет включить разработанные объективы в состав элементной базы для применения в тепловизионных камерах БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков В. Г. Современные тенденции в разработках инновационных тепловизионных объективов и проблемные вопросы их промышленного производства / В. Г. Волков, А. Е. Моисеев, Ю. С. Митрофанова, Б. Н. Сенник – // Фотоника : научн. техн. журнал. – 2018. – №1. – С. 94-105.
2. Елисеева А.А., Хацевич Т.Н. Выявление тенденций в оптических характеристиках объективов для инфракрасного приборостроения по результатам исследования патентной активности на территории Российской Федерации // ПРИБОРЫ. – 2025. – №3. – С. 26–35.
3. Дружкин Е. В., Хацевич, Т. Н. Малогабаритные тепловизионные приборы // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80. – № 6. – С. 20–27.
4. Медведев А. В. Атермализация объективов прицельно-наблюдательных комплексов как средство обеспечения жизнедеятельности объектов БТВТ / А. В. Медведев, А. В. Гринкевич, С. Н. Князева – // Фотоника : научн. техн. журнал. – 2016. – №2. – С. 94-108.
5. Шишкин И. П. Атермализованные телевизионные объективы / И. П. Шишкин, А. П. Шкадаревич // Фотоника : научн. техн. журнал. – 2022. – №1. – С. 38-43.
6. Качурин А. Е. Малогабаритные термостабильные объективы / А. Е. Качурин, Т. Н. Хацевич - // ГЕО Сибирь, Магистерская сессия «Первые шаги в науке». – 2024. – 535.317 – С. 1-7.
7. Khatsevich T., Druzhkin E. Passive athermalization of optical systems for thermal devices// Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119160J (15 December 2021); doi: 10.1117/12.2601732.
8. Хацевич Т. Н. Компьютерные методы проектирования оптических систем : учебник / Т. Н. Хацевич. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022 – 156 с.
9. Атермальные оптические системы [Электронный ресурс] / Информационный портал Оптическое расчётное бюро : официальный сайт. – 2012. – URL: <https://orb-nsk.ru/Athermal> (дата обращения 24.04.25).
10. Ophir Catalog 2024. Thermal Imaging and Swir Lens Catalog [Электронный ресурс] / URL: www.ophiropt.com/infrared (дата обращения 24.01.2025).
11. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М. Логос, 2004. – 444 с.

© А. Е. Качурин, Т. Н. Хацевич, 2025

И. С. Ковенько^{1✉}, А. Ю. Чермошенцев¹

Оценка состояния экосистем с использованием гиперспектральных и мультиспектральных данных

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kovenkoila@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения гиперспектральных и мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли для оценки состояния экосистем. Приводится сравнение результатов расчета вегетационного индекса NDVI, как одного из основных показателей состояния растительности. Показаны преимущества применения гиперспектральных данных по сравнению с мультиспектральными. Установлено, что гиперспектральные данные обеспечивают более сглаженное и стабильное значение вегетационного индекса NDVI, что позволяет точнее отразить структуру растительности.

Ключевые слова: гиперспектральная съемка, экосистема, вегетационный индекс NDVI

I. S. Kovenko^{1✉}, A. Yu. Chermoshentsev¹

Assessment of ecosystem conditions using hyperspectral and multispectral data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kovenkoila@gmail.com

Abstract. The article discusses the possibilities of using hyperspectral and multispectral data of remote sensing of the Earth to assess the state of ecosystems. A comparison of the results of calculating the NDVI vegetation index, as one of the main indicators of the state of vegetation, is given. The advantages of using hyperspectral data compared to multispectral data are shown. It is established that hyperspectral data provide a smoother and more stable value, which allows for a more accurate reflection of the vegetation structure.

Keywords: hyperspectral survey, ecosystem, vegetation index NDVI

Введение

Современные средства дистанционного зондирования Земли из космоса отличаются большим разнообразием как самих съемочных систем, так и их характеристик. Одной из тенденций их развития является увеличение количества спектральных каналов, что привело ко все большему распространению гиперспектральных съемочных систем. Наличие сотен узких спектральных диапазонов позволяет значительно повысить спектральную разделимость объектов, имеющих близкие значения яркости, например, разные типы растений или состав почвы. Тем не менее, данные, получаемые мультиспектральными системами, обладающими более высокой разрешающей способностью, остаются актуальными, поскольку имеют большой архив, обеспечивают глобальный охват и высокую пе-

риодичность съемки. И те, и другие системы находят применение в различных областях, основными из которых являются сельское хозяйство, археология, охрана окружающей среды, лесное хозяйство, мониторинг территорий. Гиперспектральные данные также помогают анализировать такие параметры, как загрязнение воды или содержание влаги в почве.

Целью данной работы является оценка состояния экосистем с использованием гиперспектральных и мультиспектральных данных, сравнительный анализ мультиспектральных и гиперспектральных данных с использованием индекса NDVI.

Методы и материалы

Одним из наиболее часто используемых спектральных индексов для оценки состояния растительности и изменений в экосистемах является индекс NDVI, который рассчитывается как разница между отражением света в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, что позволяет выделить особенности растительности и ее состояния [1]. На мультиспектральных снимках NDVI обычно рассчитывают по двум фиксированным каналам [2]. Это позволяет получить общее представление о состоянии растительного покрова, например, определить зоны засухи или вырубки. Гиперспектральные данные дают больше возможностей для глубокого анализа экосистем благодаря высокой спектральной разрешающей способности [3].

В данном исследовании в качестве исходных данных использовались спутниковые снимки, охватывающие территорию Новосибирской и Иркутской областей. Мультиспектральные снимки получены из открытого источника Sentinel Hub [4], гиперспектральные снимки с геопортала Роскосмоса [5]. Характеристики использованных снимков представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики используемых снимков

Параметры	Гиперспектральные снимки		Мультиспектральные снимки	
Территория	Новосибирская область	Иркутская область	Новосибирская область	Иркутская область
Дата съемки	16.05.2024	14.06.2024	16.04.2024	17.06.2024
Разрешающая способность, м	30	30	30	30
Количество каналов	111	111	12	12

Для данных гиперспектральной съемки индекс NDVI рассчитывается по формуле

$$NDVI = NIR + RED / NIR - RED, \quad (1)$$

где RED – красный спектральный канал (канал 21);
NIR – ближний инфракрасный (канал 93).

Расчет выполнен в программном продукте QGIS при помощи инструмента «Калькулятор растров», показанном на рис. 1.

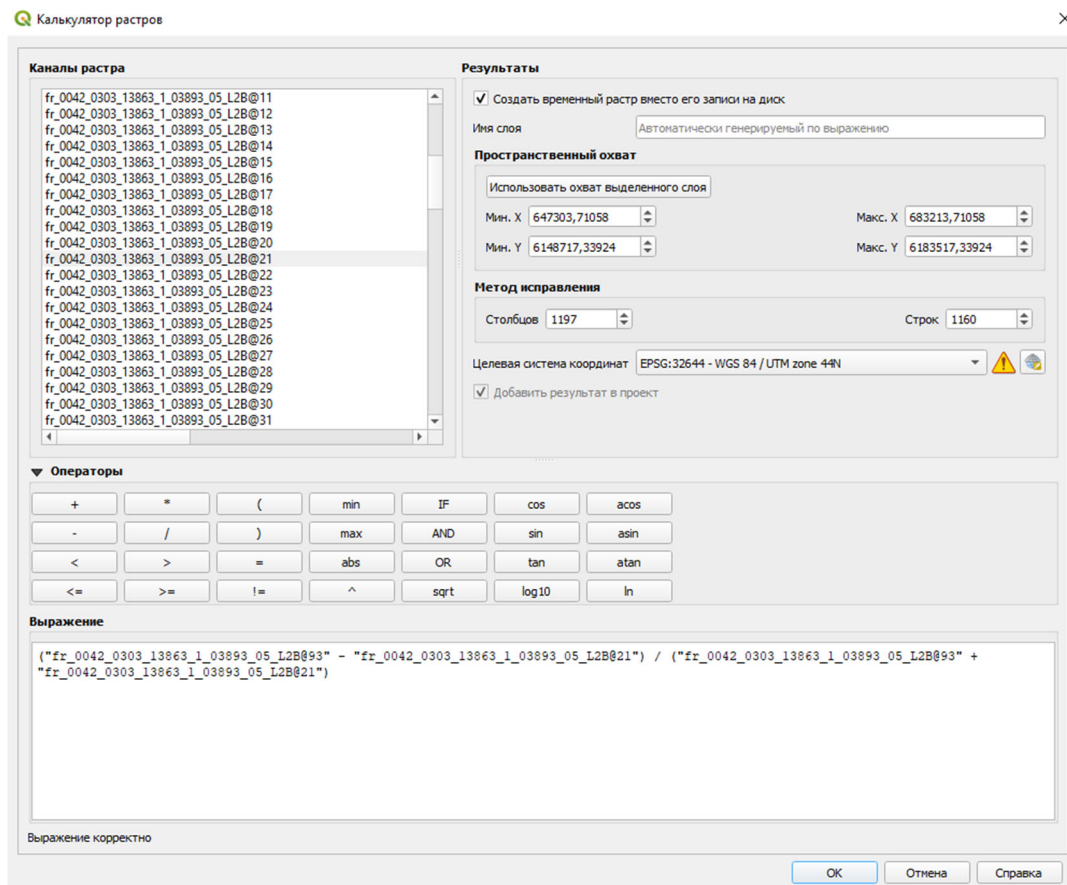


Рис. 1. Калькулятор растров

Для расчета индекса NDVI на гиперспектральном снимке были использованы каналы с номерами 93 и 21, соответствующие ближнему инфракрасному и красному диапазонам.

Результат расчета индекса NDVI для гиперспектрального снимка представлен на рис. 2.

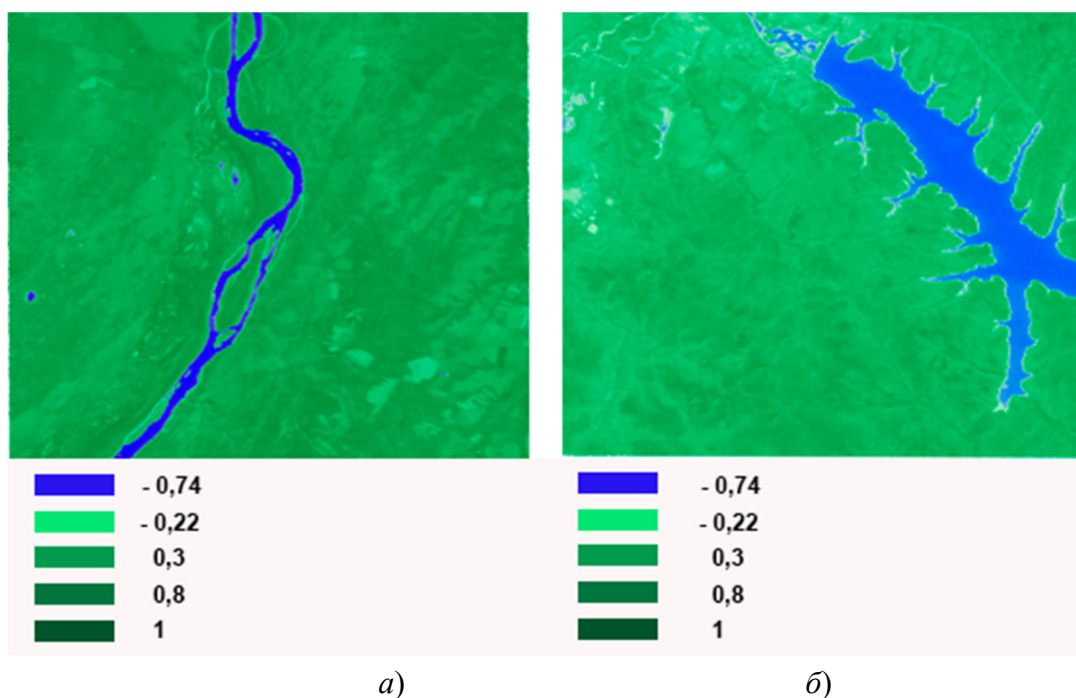


Рис. 2. Расчет NDVI для гиперспектрального снимка:
а) Новосибирская область; б) Иркутская область

Для мультиспектрального изображения использовались стандартные каналы, охватывающие красный и ближний инфракрасный диапазоны. Результат расчета индекса NDVI для мультиспектрального снимка представлен на рис. 3.

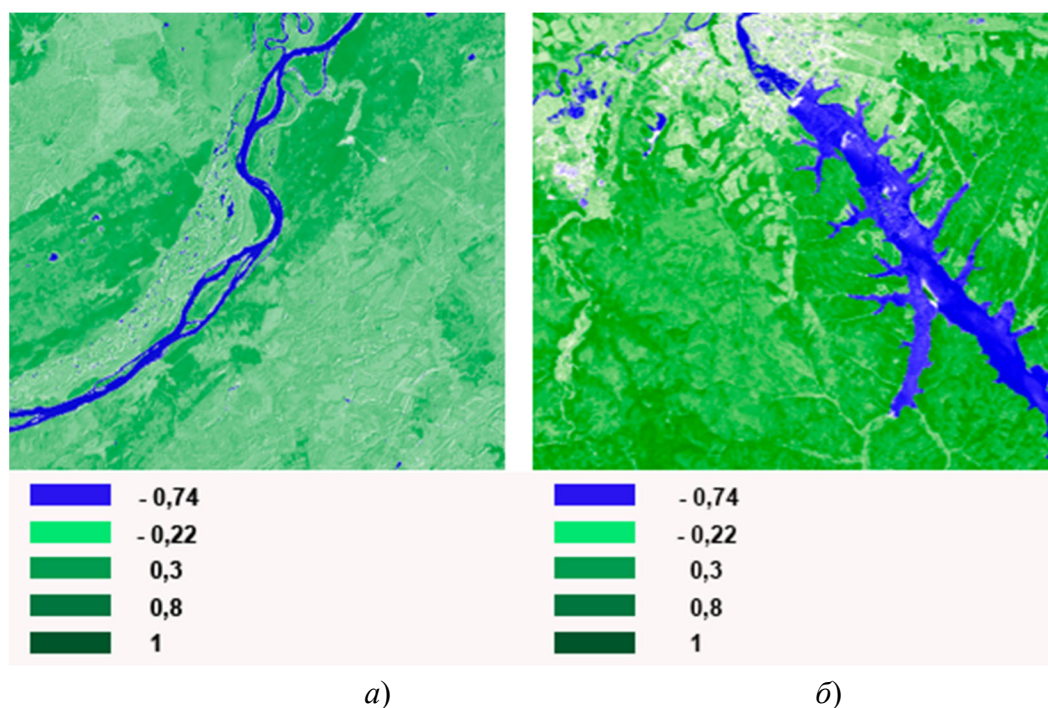


Рис. 3. Вегетационный индекс NDVI:
а) Новосибирская область; б) Иркутская область

Результаты

Результаты сравнения индексных изображений по данным мульти- и гиперспектральной съемок позволяют сделать вывод о том, что основное различие между ними заключается в детализации, за счет чего гиперспектральный NDVI обеспечивает сглаженное изображение с меньшей зашумленностью. Преимуществом в данном случае является возможность выделить отдельные типы растительного покрова. Диапазон значений вегетационного индекса, полученного по мультиспектральным данным, отличается более сильным контрастом, что делает его более удобным для первоначальной оценки растительного покрова, в то время как гиперспектральный лучше подходит для более точного анализа. На основании анализа полученных результатов была составлена сравнительная таблица спектральных и аналитических параметров двух типов съемки (табл. 2).

Таблица 2

Спектральные и аналитические параметры

Критерий	Гиперспектральный NDVI	Мультиспектральный NDVI
Точность спектральных диапазонов	Очень высокая – можно точно выбрать нужные длины волн для Red и NIR	Ограниченная – используется стандартный канал Red и NIR
Спектральная чувствительность	Тонкая – позволяет видеть микродетали различий в растительности	Грубая – сглаживает различия из-за ширины каналов
Шум и артефакты	Обычно ниже (при хорошей калибровке), но может быть чувствителен к условиям съемки	Может быть более контрастным, но и шумным (резкие границы)
Интерпретация	Ближе к научным и точным оценкам параметров	Удобен для быстрой оценки, мониторинга и классификации

Заключение

В ходе исследования была осуществлена обработка и анализ гиперспектральных и мультиспектральных данных, с целью оценки состояния экосистемы на различных территориях. Применение спектральных индексов позволило выявить существенные различия в чувствительности и детализации информации в зависимости от типа исходных данных. Гиперспектральные данные обеспечивают более высокую точность за счет узких спектральных диапазонов. Мультиспектральные данные, в свою очередь, показали высокую оперативность и практичность при проведении массовых оценок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Аншаков Г. П. Эффективность использования мультиспектральных и гиперспектральных данных дистанционного зондирования в задачах мониторинга окружающей среды / Г. П. Аншаков, А.А. Федосеев. – Текст : непосредственный // Вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2020. – № 4. – С. 38–48.
- 2 Рыбников П. А. Использование мультиспектральных и гиперспектральных данных авиационных и космических аппаратов для изучения горнопромышленных территорий / П. А. Рыбников, Д. А. Бузина. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 55–70.
- 3 Sentinel Hub. – Текст : электронный // Sentinel Hub EO Browser : [сайт]. – 2025. – URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> (дата обращения: 16.04.2025). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
- 4 Бучнев А. А. Классификация гиперспектральных данных дистанционного зондирования земли / А. А. Бучнев. – Текст : непосредственный // Техника и технология. – 2019. – Т. 12. – № 5. – С. 536–541.
- 5 Роскосмос. Геопортал данных ДЗЗ Роскосмоса. . – Текст : электронный // Роскосмос: [сайт]. – 2025. – URL: <https://www.roskosmos.ru> (дата обращения: 15.04.2025). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
- 6 Тультемирова Г. У. Возможности использования мультиспектральных данных для анализа состояния сельскохозяйственных земель и посевов / Г. У. Тультемирова. – Текст : непосредственный // Научный журнал физика. – 2021. – № 1. – С. 262–265.

© И. С. Ковенько, А. Ю. Чермошенцев, 2025

В. А. Лазовик¹✉, И. О. Михайлов¹

Концепция наблюдательного прибора с использованием оптико-волоконного жгута

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Nik95V.A@gmail.com

Аннотация. Оптические устройства с оптико-волоконным жгутом и возможностью изменения оси визирования являются перспективными разработками в области приборостроения. Область применения данных устройств: военная и гражданская сфера. Приборы такого класса обеспечивают обзор пространства в широком угловом диапазоне. Бинокулярные устройства с оптико-волоконным жгутом обеспечивают пространственное восприятие наблюдаемого объекта. Разработка таких устройств имеет ряд технологических и технических сложностей. Основными техническими сложностями являются сведение двух оптических каналов на центральный оптико-волоконный жгут с сохранением стереоскопичности, разработка системы эффективных оптических заслонок для разделения оптических каналов. Решение технических и технологических проблем в данном направлении является актуальной задачей, которой посвящена статья. Представлены концептуальное решение наблюдательного прибора с использованием оптико-волоконного жгута и основные требования к оптическим бинокулярным устройствам. Приведена принципиальная оптическая схема устройства с оптико-волоконным жгутом.

Ключевые слова: бинокулярная телескопическая система, изменяемая ось визирования, оптико-волоконный жгут, оптические заслонки, принципиальная оптическая схема

V. A. Lazovik¹✉, I. O. Mikhailov¹

The concept of an observation device using a fiber optic harness

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Nik95V.A@gmail.com

Abstract. Optical devices with an optical fiber bundle and the ability to change the axis of sight are promising developments in the field of instrument engineering. The scope of these devices is military and civilian applications. Devices of this class provide an overview of space in a wide angular range. Binocular devices with an optical fiber bundle provide spatial perception of the observed object. The development of such devices has a number of technological and technical difficulties. The main technical difficulties are the reduction of two optical channels to the central optical fiber bundle while maintaining stereoscopicity, the development of a system of effective optical shutters for separating the optical channels. The solution of technical and technological problems in this area is an urgent task, which is the subject of the proposed article. In which a conceptual solution of an observation device using an optical fiber bundle is presented. The main requirements for optical binocular devices are presented. A basic optical diagram of a device with an optical fiber bundle is given.

Keywords: binocular telescopic system, variable axis of sight, fiber optic harness, optical shutters, optical circuit diagram

Введение

Главными проблемами при разработке бинокулярных оптических устройств

с оптико-волоконным жгутом являются синхронизация смещения осей визирования, сохранение стереоскопического зрения при наблюдении за удаленным объектом, устранение мозаичной картины в оптико-волоконном жгуте.

Сохранение параллельного расположения оптических осей бинокулярного устройства в пределах допуска при перемещении является одним из ключевых факторов, показывающих качество устройства. Бинокулярное устройство с оптико-волоконным жгутом является перспективной разработкой, но имеет недостатки.

Наблюдательное устройство с оптико-волоконным жгутом

Наблюдательное устройство с оптико-волоконным жгутом – это оптический прибор, в котором используется гибкий оптико-волоконный жгут из кварцевого стекла или прозрачной пластмассы.

Область применения оптических устройств с оптико-волоконным жгутом имеет широкую область применения, начиная от военного назначения и повседневного применения, заканчивая узконаправленными областями. Применение таких устройств всегда актуально, когда требуется наблюдение за удаленным объектом без изменения положения наблюдателя [1].

Конструкция наблюдательного устройства с оптико-волоконным жгутом состоит из блока объективов, волоконно-оптического жгута и блока окуляров. Волоконно-оптический жгут имеет низкий вес, что позволяет снизить вес будущего устройства и обладает хорошими пластическими свойствами, допуская изгиб радиусом от 5 до 8 диаметров жгута [2].

Объектив и волоконно-оптический жгут в таких устройствах являются основными оптическими компонентами, при этом характеристики объектива должны быть согласованы с характеристиками волоконно-оптического жгута. Фокусное расстояние объектива должно быть таким, чтобы при выбранном диаметре волоконно-оптического жгута обеспечивалось необходимое угловое поле в пространстве предметов. Диаметр входного зрачка объектива должен быть таким, чтобы числовая апертура в пространстве изображений объектива не превышала числовую апертуру волоконно-оптического жгута [3]. Диаметр выходного зрачка принимается несколько больше, чем диаметр зрачка наблюдателя, что облегчает позиционирование глаза относительно окуляра при наблюдении в прибор.

На рис. 1 приведена принципиальная схема бинокулярного прибора с одним центральным оптико-волоконным жгутом.

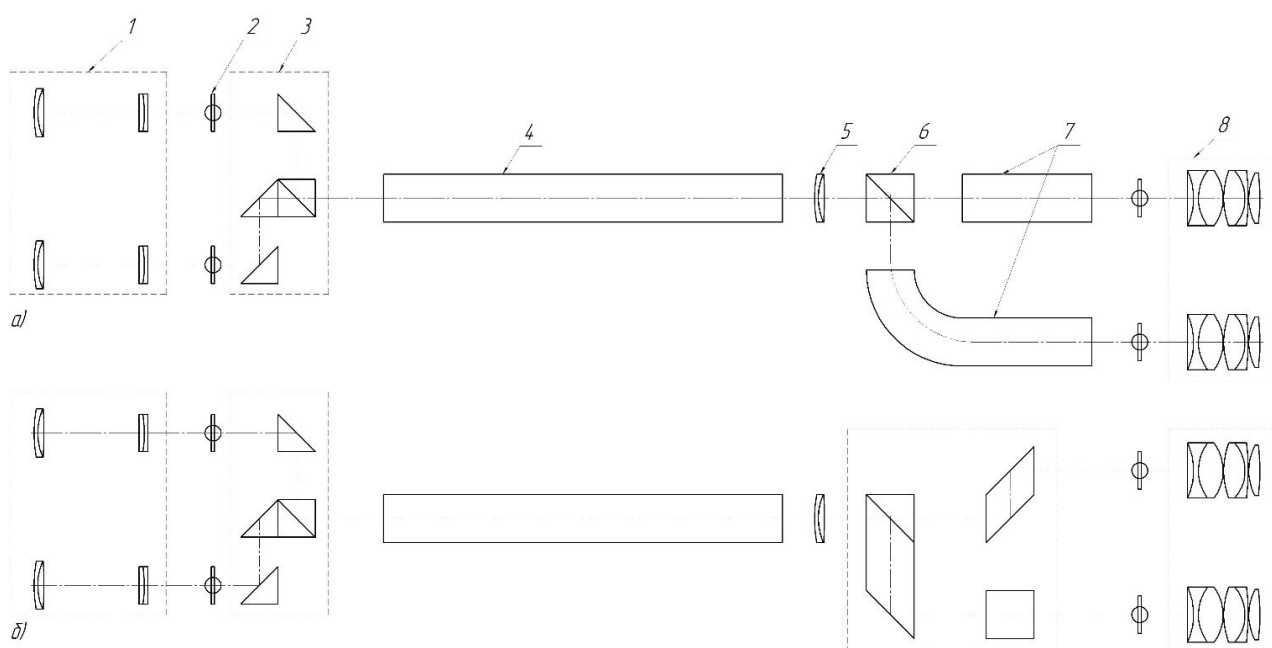


Рис. 1. Варианты принципиальных схем бинокулярного прибора с центральным оптико-волоконным жгутом:

- а) оптическая схема с двумя оптико-волоконными жгутами в окулярной части; б) оптическая схема с призмным блоком в окулярной части

В конструкции с главным центральным оптико-волоконным жгутом узел объективов имеет жесткую конструкцию, и оптические оси объективов находятся параллельно друг другу, что исключает не параллельность оптических каналов. Конструкция устройства при таком размещении оптических компонентов будет иметь следующий вид (рис. 1, а): пара объективов 1, оптические заслонки 2, призмный блок 3, оптический шарнир 4, 5, делительная призма 6, пара оптико-волоконных жгутов 7, пара окуляров 8. Оптические заслонки 2 разделяют оптические каналы попарно переменным перекрытием оптических каналов при передаче изображения на оптический шарнир 4, 5. Заслонки вращаются с угловой частотой 25 Гц, что соответствует времени запоминания информации зрительной системой человека, в качестве альтернативы оптическим заслонкам 2 рассматривается использование поляризационных фильтров.

Требования к бинокулярным приборам

Особенности бинокулярного зрения человека определяют специфические требования к характеристикам бинокулярных оптических приборов, которые приведены в табл. 1 [4, 5].

Таблица 1

Общие технические требования к биноклярным приборам

Наименование оптических характеристик	Значение оптических характеристик	
	Система Кеплера	Система Галилея
Разность действительных и расчетных значений, %, не более		
Видимое увеличение, Г.	± 5	+ 10
Угловое поле зрения в пространстве предметов, 2ω	± 5	- 5
Диаметр входного зрачка, D	± 5	-
Диаметр выходного зрачка, D*	± 10	-
Абсолютное значение разности увеличения трубок бинокля, %, не более		
При $2\omega' \leq 50^\circ$	2	2
При $2\omega' \geq 50^\circ$	1,5	1,5
Угол поворота изображения вокруг оптической оси по отношению к предмету в каждой трубке бинокля, не более	60'	-
Разность поворота осей изображения в обеих трубках, не более	30'	-
Погрешность установки нулевого штриха диоптрийной шкалы, дптр, не более	± 1	-
Предел разрешения в центре поля зрения, не более		
При $D \leq 4,5$ мм	$(180/D)''$; $(220/D)'''^*$	$(40/\Gamma)''$
При $D \geq 4,5$ мм	$(300/D)''$	-

*- Для призмных биноклей с оборачивающей системой, содержащей крышу.

Разница увеличения каналов биноклярных приборов варьируется в диапазоне от 1,5 % до 2 % в зависимости от типа прибора и его поля зрения [6, 7].

Разделение оптических каналов при центральном оптико-волоконном жгуте

Конструкция оптического биноклярного устройства с применением оптико-волоконного жгута содержит оптические заслонки. Роль оптической заслонки может выполнять устройство, поочередно отсекающее оптические каналы с частотой 25 Гц (рис. 2) [8].

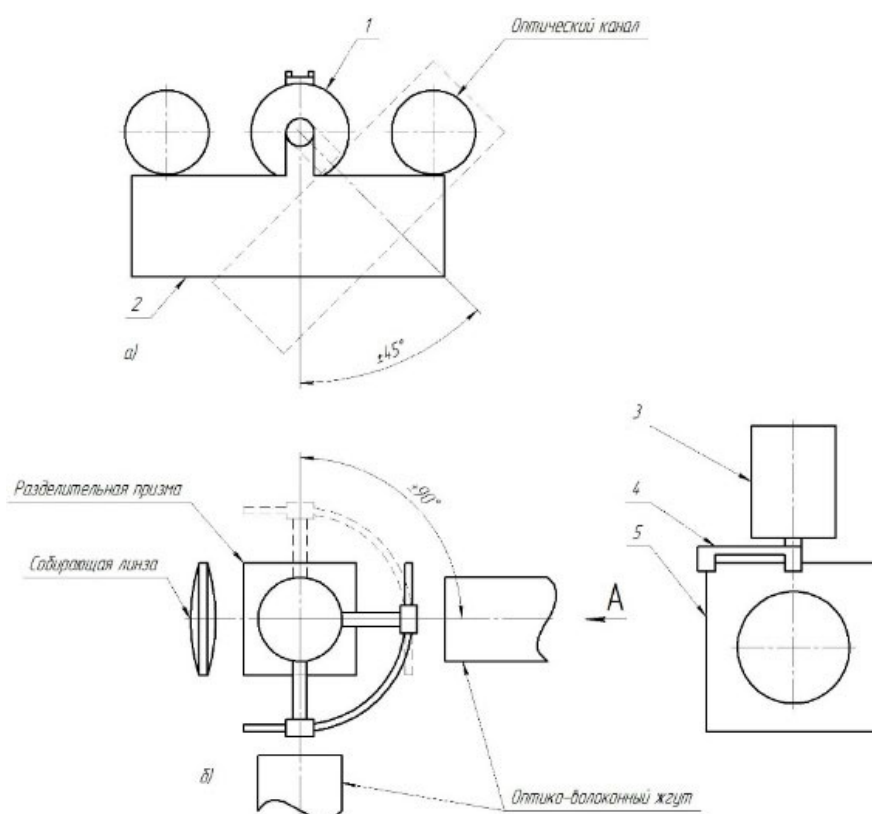


Рис. 2. Оптические заслонки:
а) область объективов; б) область окуляров

Конструкция механических оптических заслонок, представленная на рис. 2, а) для части объективов, состоит из пластины 2, установленной на шаговый двигатель 1. При работе устройства шаговый двигатель 1 отклоняет пластину 2 на угол $\pm 45^\circ$ от своего начального положения, перекрывая поочередно оптические каналы. Конструкция оптической заслонки, расположенной в области окуляров (рис. 2 б), устанавливается в области делительной призмы и состоит из шагового двигателя 3, кронштейна 4, изогнутой пластины с выходным отверстием 5. Пластина 5 фиксируется на кронштейне 4 и устанавливается на шаговый двигатель 3. Шаговый двигатель 3 поворачивая пластину 5 поочередно перекрывает оптические каналы синхронно с заслонками объективной части.

К достоинствам рассмотренной конструкции можно отнести высокую надежность, точность отсечения оптических каналов. К недостаткам относятся повышенный уровень шума, увеличение веса будущего изделия, сложность изготовления механизма синхронизации отсекаания оптических каналов.

Кроме механических заслонок существуют жидкокристаллические оптические заслонки, которые занимают меньше места в оптическом устройстве. Альтернативным вариантом оптических заслонок могут выступать поляризационные фильтры, которые имеют основной недостаток в виде существенного снижения светопропускания.

Жидкокристаллические оптические заслонки (ЖК-заслонки) – это современные устройства (рис. 3), которые используют жидкие кристаллы для управ-

ления потоком света. Они работают путем изменения оптических свойств жидких кристаллов под воздействием электрического поля. Изменяя интенсивность электрического поля, можно регулировать степень поляризации света, проходящего через заслонку [9].



Рис. 3. Жидкокристаллическая оптическая заслонка

Основными достоинствами жидкокристаллических заслонок в отличие от механических будут более низкий вес, быстрое время отклика, более компактные и износостойкие. К недостаткам можно отнести зависимость от температуры и климатических условий, высокая стоимость.

Для снижения количества механических частей устройства можно использовать поляризационные фильтры вместо оптических заслонок. Поляризационные фильтры – это оптические устройства, которые используются для фильтрации света по направлениям его колебаний. Они обычно изготавливаются из поляризационной пленки и применяются в фотографии и оптике для улучшения качества изображений. Принцип работы основан на пропускании света определенного направления. Он может блокировать световые волны, которые колеблются в перпендикулярном направлении, за счет чего достигается значительное уменьшение бликов и отражений от блестящих поверхностей.

К достоинствам такого решения можно отнести повышение контрастности качества изображения, снижение бликов, низкий вес конструкции, отсутствие механических частей. К недостаткам относятся низкий коэффициент светопропускания на уровне 50 %, зависимость от источника света, сложность взаимного позиционирования относительно друг друга для отсечения оптических каналов.

Предварительная компоновка оптической системы с оптико-волоконным жгутом

В ходе работы был разработан вариант компоновки оптической системы. В данном варианте сохраняется положение каналов объектива за счет жесткой фиксации компонентов на определенном расстоянии, так же для сведения каналов на центральный оптико-волоконный жгут введена призматическая система. Для разведения оптических каналов служит призматический блок и пара оптико-волоконных жгутов. Компоновка оптических компонентов блока объектива, окулярного блока и всей системы приведена на рис. 4.

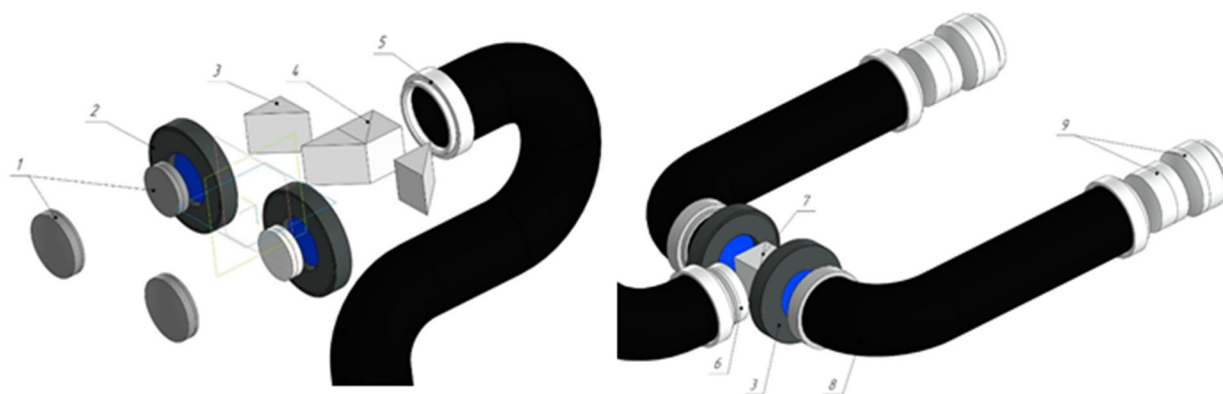


Рис. 4. Компонировка блока объективов

Блок объективов состоит из пары телеобъективов 1, ЖК-заслонки 2, двух призм AP-90 3, призмённого блока 4. Пучки света, проходя через телеобъективы 1 попадают на ЖК-заслонки 2, отсекающие оптические каналы поочередно с частотой 25 Гц. Пройдя через оптическую заслонку пучок света попадает на призму AP-90 3 и блок призм 4, после чего попадает на оптико-волоконный жгут 5 и выходит на блок окуляров.

Блок окуляров состоит из склейки 6, блока призм 7, пары ЖК-заслонок 3, пары волоконно-оптических жгутов 8 и пары окуляров 9. Пучок света пройдя через блок объективов и центральный оптико-волоконный жгут, попадает на склейку линз 6 и призмённый блок 7, разводясь на два оптических канала. После разводки на оптические каналы, свет попадает на ЖК-заслонки 3, аналогично работая, как и в блоке объективов, попадая далее на волоконно-оптический жгут 8 и окуляры 9.

Выводы

Оптические устройства с волоконно-оптическим жгутом способны значительно расширить возможности наблюдения за удаленными объектами. Интеграция волоконно-оптического жгута в оптический шарнир позволяет облегчить конструкцию устройства и сделать его более адаптивным для целей наблюдения.

В конструкции с центральным оптико-волоконным жгутом и оптическими заслонками при наблюдении за удаленным объектом сохраняется параллельность оптических каналов стереоскопический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазовик В.А., Михайлов И.О. Концептуальное решение бинокулярного устройства с изменяемой осью визирования//Сборник материалов международной конференции «Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2024» том 6. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024 с. 132-138.
2. Патент US4208087A США, G02B 23/02. Optical flexure joint; № 4208087; заявл. 27.09.1978; опубл. 17.06.1980/ Erwin E. Cooper. – 5 с.: ил. – Текст: непосредственный.

3. Хацевич Т. Н. Эндоскопы [Текст] : учеб. пособие / Т. Н. Хацевич, И. О. Михайлов. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 195 с
4. ГОСТ 7048-81 Бинокли. Типы и основные параметры. Общие технические требования. [Текст]. – Введ. 1981 – 24 – 27. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 7 с.
5. ГОСТ Р 50909-96. Приборы визуальные наблюдательные. Требования безопасности и методы испытаний. – Введ. 01.04.1996. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.
6. Еськова Л.М. Оптические измерения / учеб. пособие для вузов / Л. М. Еськова. – М.: Наука, 2003. – 129с.
7. Кузнецов А. К. Метрология / учебник для вузов / А. К. Кузнецов, А. Н. Исаев, И. И. Шайко. – М.: Наука, 2006. – 345с.
8. Патент SU1495764 A1 СССР, G05D 25/00 Оптический затвор; №4415231; заявл. 30.11.1987 опубл. 23.07.1989./ Богословский С.Н., Караванов В.В., Антонов В.А., Канашов С.В.; Заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский центр по автоматизации исследований в области физико-химической биологии - 2с.: Текст: непосредственный.
9. Патент RU2204973C2 Россия, A61F 9/06. Жидкокристаллический затвор; №97112909; заявл. 28.07.1997 опубл. 20.07.1997/ Палмер С., Хернелль. О.; Заявитель и патентообладатель Хёрнелль Интернэшнл АБ – 4с.: ил. – Текст: непосредственный.

© В. А. Лазовик, И. О. Михайлов, 2025

А. О. Маликов^{1✉}, С. В. Долин¹

Совершенствование метода PPP для обработки ГНСС-измерений со смартфонов нового поколения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: a.o.malikov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается модификация алгоритма метода Precise Point Positioning (PPP) для обработки сигналов на частотах L1 и L5 в контексте внедрения нового сигнала L5 в спутниковую навигацию. Исследование направлено на адаптацию существующих методов обработки ГНСС-измерений, полученных на новых частотах. Основные задачи исследования включают реализацию ионосферно-свободной линейной комбинации в методе PPP с использованием измерений на частотах L1 и L5, а также учёт дифференциальных кодовых задержек в межсистемных измерениях. Модификация алгоритма позволяет использовать смартфоны нового поколения в высокоточном позиционировании, поскольку они поддерживают двухчастотные мультисистемные измерения. Приведены результаты обработки наблюдений со смартфона Mi 8 с помощью модифицированного алгоритма в статическом и кинематическом режимах, выполнена оценка точности.

Ключевые слова: ГНСС, Precise Point Positioning, RTKLIB, мультисистемные измерения, дифференциальные кодовые задержки

A. O. Malikov^{1✉}, S. V. Dolin¹

Improvement of the PPP method for processing GNSS data acquired by next-generation smartphones

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: a.o.malikov@mail.ru

Abstract. The article presents a modification of the Precise Point Positioning (PPP) algorithm for processing signals at L1 and L5 frequencies in the context of the implementation of the new L5 signal in satellite navigation systems. The research directed to adapt existing methods for processing GNSS measurements obtained at new frequencies. The main objectives of the study include the implementation of an ionosphere-free linear combination in the PPP method using measurements at L1 and L5 frequencies, and applying differential code biases in inter-system measurements. The modified algorithm enables the use of next-generation smartphones for precise positioning, as they support dual-frequency multi-system measurements. Results from processing observations collected with the Mi 8 smartphone using the modified algorithm in both static and kinematic modes are presented, along with an assessment of accuracy.

Keywords: GNSS, Precise Point Positioning, RTKLIB, multi-frequency measurements, differential code bias

Введение

С запуском блока ИФ космической спутниковой группировки GPS 28 мая 2010 года введен в эксплуатацию новый сигнал L5. Сигнал L5, центрированный

на частоте 1176.45 МГц, обладает большей длиной волны, чем L1 и L2, что облегчает разрешение неоднозначности, и обеспечивает защищённость от помех, связанных с переотражением сигнала. В настоящее время спутники навигационных систем Galileo, QZSS, BeiDou, а также часть космических аппаратов GPS осуществляют передачу сигналов на частоте L5. С момента введения данных КА в эксплуатацию в ГНСС-сегменте геодезического рынка доступны устройства, способные принимать и обрабатывать сигналы в новых частотных диапазонах. К таким устройствам относятся смартфоны нового поколения, оснащенные двухчастотными ГНСС-чипами, которые поддерживают обработку сигналов на частотах L1 и L5. Согласно отчёту Агентства по космической программе Евросоюза за 2024 год (EUSPA EO and GNSS Market Report 2024) [1], смартфоны составляют около 80 % от общего объёма поставок ГНСС-устройств. Смартфоны могут быть использованы для высокоточных спутниковых определений [2], в том числе для решения прикладных задач [3], однако существующие методы обработки ГНСС-измерений не адаптированы для работы с данными, полученными на частоте L5, что делает актуальным вопрос модернизации данных методов.

Цель исследования заключается в модификации алгоритма метода Precise Point Positioning (PPP) при позиционировании на частотах сигналов L1/L5 и E1/E5 а для смартфонов нового поколения. Основные задачи исследования включают реализацию ионосферно-свободной линейной комбинации (ИСЛК) в методе PPP с использованием измерений на новых частотах, а также учёт дифференциальных кодовых задержек, поставляемых в файлах формата Bias SINEX (BSX).

Классическая реализация метода PPP предполагает использование одностемных измерений и не включает в себя учёт дифференциальных кодовых задержек [4]:

$$\begin{cases} P_{r_{IF}}^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + \epsilon_{P_{IF}}^s \\ \Phi_{r_{IF}}^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + \lambda_{IF} A_{IF} + \lambda_{IF} \phi_{pw}^s + \epsilon_{\Phi_{IF}}^s \end{cases}, \quad (1)$$

где s – номер спутника; ρ_r^s – геометрическая дальность $\|x^s - x_r\|$ между положением фазового центра антенны спутника $x^s = (x^s, y^s, z^s)^T$ в момент приема сигнала на эпоху $t_A \cong t_E + \frac{\rho_r^s}{c}$ в общеземной геоцентрической прямоугольной системе координат на момент t_A ; c – скорость света в вакууме; dt_r и dt^s – смещения часов на приемнике и спутнике относительно системной шкалы времени GPS; T_r^s – погрешность ИСЛК, связанная с тропосферной задержкой; λ_{IF} – длина волны ИСЛК несущей сигналов на частотах f_i, f_j ; A_{IF} – нецелочисленная неоднозначность ИСЛК фаз несущей; ϕ_{pw}^s – набег фазы несущей; $\epsilon_{P_{IF}}^s$ и $\epsilon_{\Phi_{IF}}^s$ – состав-

ляющие шума измерений; $P_{r_{IF}}^s$ и $\Phi_{r_{IF}}^s$ – ИСЛК кодовых и фазовых измерений [5], которые определяются как:

$$P_{r_{IF}}^s = \frac{f_i^2 P_{r_i}^s - f_j^2 P_{r_j}^s}{f_i^2 - f_j^2}. \quad (2)$$

Методы и материалы

В качестве основы используется алгоритм метода PPP, реализованный в программном комплексе RTKLIV [6], который представляет собой открытую библиотеку для обработки ГНСС-измерений. В алгоритм внесены следующие изменения:

- добавлены комбинации фазовых наблюдений с кодами, соответствующими диапазонам L1 и L5;
- реализован учет дифференциальных кодовых задержек для мультисистемных измерений на частоте L5.

Комбинации кодов фазовых наблюдений, используемые для формирования ИСЛК, интегрированы в алгоритм в соответствии с общепринятым форматом файлов обмена данными спутниковых измерений RINEX версии 4.00 [7], как представлено в табл. 1.

Таблица 1

Коды наблюдений ГНСС версии RINEX 4.00

Диапазон / частота, МГц	Коды наблюдений		Системы
	Кодовые	Фазовые	
L1/1575,42	C1C	L1C	GPS, QZSS
L5/1176,45	C5Q	L5Q	GPS, QZSS
E1/1575,42	C1C	L1C	Galileo
E5a/1176,45	C5Q	L5Q	Galileo

Уравнения измерений ГНСС с учетом дифференциальных кодовых задержек [8] имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{r_{IF}}^{s,W} = \rho_r^{s,W} + c \left(dt_r^W - dt^{s,W} + ISB_r^Y \right) + T_r^{s,W} + b_{P_{IF}}^{s,W} + \epsilon_{P_{IF}}^{s,W} \\ \Phi_{r_{IF}}^{s,W} = \rho_r^{s,W} + c \left(dt_r^W - dt^{s,W} + ISB_r^Y \right) + \\ + T_r^{s,W} + \lambda_{IF}^{s,W} \left(A_{IF}^{s,W} + \varphi_{pw}^{s,W} \right) + \epsilon_{\Phi_{IF},W}^{s,W} \end{array} \right., \quad (3)$$

где W – индекс системы GPS (G), ГЛОНАСС (R), Galileo (E); $b_{P_{IF}}^{s,W}$ – дифференциальная кодовая задержка; ISB_r^Y – межсистемное смещение (Inter-System Bias).

Проведение эксперимента

Оценка эффективности модифицированного алгоритма выполнена экспериментальным путём. В ходе эксперимента обработаны суточные файлы измерений, полученные со смартфона Mi 8, в статическом и кинематическом режимах. Для обработки использовались данные навигационных систем GPS и QZSS, быстрые файлы орбит и часов, навигационные файлы BRDC и файлы параметров вращения Земли (ERP). Использовалась маска по высоте 15 градусов. Эталонные координаты получены в результате обработки измерений с использованием онлайн-сервиса CSRS-PPP [9]. Выполнена оценка точности измерений в сравнении с эталонными координатами пункта NSKE по методу Гаусса согласно формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

где x_i – координаты, полученные в i -м измерении; $\bar{x}$ – эталонные координаты пункта NSKE; n – количество измерений.

Результаты

В табл. 2 приведены среднеквадратические ошибки координат, полученных в результате эксперимента, относительно эталонных значений. Сравнение результатов двух решений в кинематическом режиме показало незначительные различия, в то время как в статическом режиме решение CSRS-PPP оказалось наиболее точным.

Таблица 2

Среднеквадратические ошибки координат

Метод, режим	СКО					
	RTKLIB			CSRS-PPP		
	Е, (м)	N, (м)	U, (м)	Е, (м)	N, (м)	U, (м)
PPP-static	2,0917	1,937	6,2608	0,6412	0,6605	1,397
PPP-kinematic	1,9453	3,2302	5,2707	1,9465	2,325	4,0753
Относительный (статика)	0,2075	0,0172	1,7631			
Относительный (кинематика)	1,0117	0,9301	2,1803			
Абсолютный	4,0836	6,5059	10,583			

Заключение

Модифицированный алгоритм расширяет функциональные возможности метода PPP, позволяя обрабатывать измерения, выполненные на частотах L1 и L5, и исключать систематические ошибки в мультисистемных измерениях. Это открывает возможности для использования смартфонов в коллаборативном позиционировании [10], где PPP в кинематическом режиме является основным методом.

В перспективе планируется реализация алгоритма разрешения фазовой неоднозначности в методе PPP по модели некалиброванных фазовых задержек в постобработке, и адаптивного робастного фильтра Калмана на основе вариационного Байесовского метода, что значительно повысит точность позиционирования.

Благодарности

Исследование выполняется при поддержке НИР «ГЕОТЕХ» 124102500884-9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. EUSPA EO and GNSS Market report / European Union Agency for the Space Programme [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/external/publications/euspa_market_report_2024.pdf
2. Долин, С. В. Исследование возможности высокоточного позиционирования с использованием смартфонов нового поколения / С. В. Долин, А. В. Мареев, Л. М. Мухоманова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2023. – Т. 28, № 6. – С. 28-34. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-28-34. – EDN DCTKFR.
3. Шевчук, А. А. Методика геодезического обеспечения землеустроительных работ с применением смартфонов с двухчастотным спутниковым модулем ГНСС / А. А. Шевчук // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 11. – С. 10-14. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1013-11-10-14. – EDN RVVKAH.
4. Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, J. Geophys. Res. Solid Earth, 1997, vol. 102, no. B3, pp. 5005–5017.
5. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / К. М. Антонович // Москва: ФГУП «Картгеоцентр», – 2007. – Т. 2. – С. 238.
6. RTKLIB / An Open Source Program Package for GNSS Positioning Electronic program [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.rtklib.com/>
7. RINEX. The Receiver Independent Exchange Format. Version 4.00, 2021.
8. Долин С. В. Учет дифференциальных кодовых задержек многосистемных ГНСС-измерений при позиционировании в режиме реального времени методом Precise Point Positioning / С. В. Долин // Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30, № 4(119). – С. 142-151. – DOI 10.17285/0869-7035.00108. – EDN YQJOQL.
9. CSRS-PPP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canada.ca/en.html>
10. Долин, С. В. Коллаборативное позиционирование по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем / С. В. Долин, Л. А. Липатников // XXXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам : Сборник докладов, Санкт-Петербург, 27–29 мая 2024 года. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 164-166. – DOI 10.13140/RG.2.2.23587.67369. – EDN FIXNQQ.

© А. О. Маликов, С. В. Долин, 2025

А. А. Медведев^{1✉}, Д. Н. Титов¹

Методика передачи зашифрованной информации посредством световых импульсов

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: andrey_medvedev.01@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможности реализации защищенного оптического канала связи на базе бюджетных компонентов. Предложена экспериментальная модель, включающая лазерные указки в качестве источника света, фотоприемники, два микроконтроллера и персональные компьютеры, с расстоянием между передатчиком и приемником в 20 см. Основная цель работы — доказать работоспособность алгоритма шифрования Twofish в условиях отсутствия аппаратного усиления сигнала и формирования импульсов. Даже при исключении усилителей мощности с передающей стороны и дополнительной обработки сигнала с приемной система обеспечивает передачу данных со скоростью 1,66 байт/с, что подтверждает принципиальную возможность использования минимальной элементной базы для задач с требованиями к безопасности. Экспериментально выявлено, что увеличение дистанции передачи требует модификации схемы: внедрения формирователей сигнала, усилителей тока и входного каскада. Результаты демонстрируют потенциал подхода, сочетающего программное шифрование и физическую передачу через оптический канал, для локальных систем, функционирующих в условиях радиомолчания или ограниченного бюджета.

Ключевые слова: оптическая связь, оптическая передача данных, безопасность данных, беспроводная связь

A. A. Medvedev^{1✉}, D. N. Titov¹

Technique of transmitting encrypted Information by means of light pulses

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: andrey_medvedev.01@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the possibility of realizing a secure optical communication channel based on low-cost components. An experimental model including laser pointers as a light source, photodetectors, two microcontrollers and personal computers with a distance between the transmitter and receiver of 20 cm is proposed. The main objective of the work is to prove the performance of the Twofish encryption algorithm in the absence of hardware signal amplification and pulse shaping. Even with the exclusion of power amplifiers on the transmitting side and additional signal processing on the receiving side, the system provides data transmission at a rate of 1.66 bytes per second, which confirms the fundamental possibility of using the minimum element base for tasks with high security requirements. It is experimentally revealed that increasing the transmission distance requires modification of the circuit: introduction of signal conditioners, current amplifiers and input stage. The results demonstrate the potential of an approach combining software encryption and physical transmission through an optical channel for local systems operating under conditions of radio silence or limited budget. Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: optical communication, optical data transmission, data security, wireless communication

Введение

Разработка альтернативных систем защищенной передачи данных приобретает особую значимость в контексте уязвимости традиционных беспроводных каналов к перехвату и экономической нецелесообразности оптоволоконных решений для локальных приложений. В условиях ограниченного бюджета актуальным становится создание систем, использующих минимальную аппаратную базу без компромисса в уровне безопасности. Цель работы — экспериментальное обоснование возможности построения защищенного оптического канала связи на базе бюджетных компонентов с отказом от усилителей мощности, формирователей сигнала и специализированного оборудования. Ключевой задачей является доказательство гипотезы о том, что даже при использовании дешевых компонентов система способна обеспечить криптостойкую передачу данных в условиях дневного освещения (400 лк) с воздушной средой в качестве канала.

Анализ уязвимостей беспроводных технологий Wi-Fi и Bluetooth

Беспроводные сети Wi-Fi и Bluetooth, несмотря на широкое применение, сохраняют критические уязвимости, связанные с особенностями их протоколов и реализацией механизмов безопасности. В случае Wi-Fi основным риском остается передача данных в открытых сетях без шифрования, что позволяет злоумышленникам перехватывать трафик через анализ пакетов. Даже в защищенных сетях использование устаревших стандартов, таких как WEP, создает угрозу за счет статических ключей и слабой криптостойкости. Протокол WEP может быть взломан за минуты через атаки на векторы инициализации, что делает его непригодным для современных применений.

Более современные протоколы WPA и WPA2, хотя и обеспечивают повышенную безопасность, также имеют ограничения. WPA, использующий протокол TKIP, уязвим к атакам на целостность пакетов, таким как атака Michael, которая позволяет блокировать сеть через отправку ложных фреймов. WPA2, несмотря на применение AES-шифрования в рамках протокола CCMP, остается подверженным офлайн-брутфорсу паролей, особенно в публичных сетях, где отсутствует встроенное шифрование. Уязвимость KRACK (Key Reinstallation Attack) в WPA2 дополнительно усугубляет риски, позволяя злоумышленникам перехватывать и модифицировать трафик. Даже WPA3, внедряющий 256-битное шифрование и протокол SAE (Simultaneous Authentication of Equals), требует физического присутствия пользователя для аутентификации, что ограничивает его применимость в масштабных системах [1, 2].

Технология Bluetooth демонстрирует уязвимости на этапе сопряжения устройств. Обмен ключами инициализации в незашифрованном канале создает риск перехвата через атаки Eavesdropping или Man-in-the-Middle (MITM). Режимы защиты, такие как минимальный уровень безопасности в Bluetooth Low Energy (BLE), упрощают несанкционированный доступ. Уязвимости в стеке протоколов, например, эксплойт BlueBorne, позволяют удаленное выполнение кода

без необходимости сопряжения, что критично для медицинского оборудования и промышленных систем. Использование коротких ключей шифрования (менее 128 бит) в ранних версиях Bluetooth дополнительно снижает криптостойкость [1, 2].

Общей проблемой для обеих технологий является слабая аутентификация в публичных сетях и зависимость от корректной настройки устройств. В Wi-Fi фишинг через поддельные точки доступа (Evil Twin) и атаки на роуминг остается актуальным. В Bluetooth недостаточная проверка устройств в процессе сопряжения и упрощенные процедуры аутентификации в BLE повышают риск компрометации.

Методы и методики

В основе разработанной системы лежит гибридный подход, сочетающий программное шифрование данных с использованием алгоритма Twofish и их физическую передачу через оптический канал [3] на базе бюджетных компонентов. Экспериментальные испытания системы проводились в условиях дневного комнатного освещения (400 лк) с воздушной средой в качестве канала передачи между лазерным модулем и фотоприемным устройством, при этом никаких дополнительных оптических элементов или экранирующих материалов не применялось. Адаптированный алгоритм Twofish, реализованный на стороне микроконтроллера, обеспечивает криптостойкость за счет 128-битных ключей и использует для работы блоки данных размером 128 бит. На микроконтроллер передается массив байт исходного файла, выбранного на стороне персонального компьютера, через UART-интерфейс со скоростью 9600 бод, где этот массив преобразуются с помощью алгоритма шифрования сначала в измененный массив байт, а потом в оптические сигналы с помощью лазерного модуля RKP-LD-I650A03 с длиной волны 650 нм и мощностью излучения от 2 до 5 мВт. Приемная часть системы включает фотодиод BPW20RF с спектральным диапазоном чувствительности от 400 до 1100 нм, темновым током 2 нА и обратным напряжением в 10 В. К обеим частям подключены микроконтроллеры Arduino Mega 2560, обеспечивающий обработку сигнала без усилителей и формирователей. Микроконтроллер выполняет функцию физического уровня, преобразуя цифровые данные в оптические сигналы и обратно [4]. Расстояние между передатчиком и приемником составило 20 см, что подтвердило возможность работы системы в условиях отсутствия дополнительной аппаратной обработки. Модель всей системы приведена на рис. 1. Алгоритм работы, показанный на рис. 2, разделен на три ключевых этапа: инициализация системы, обработка входящих данных и формирование ответа.

Инициализация системы. При запуске микроконтроллер настраивает аппаратные ресурсы: последовательный порт, четыре цифровых выхода (пины 7, 6, 5, 4) конфигурируются как выходы для управления лазерными модулями. Для исключения ложных срабатываний все лазеры принудительно устанавливаются в состояние LOW.

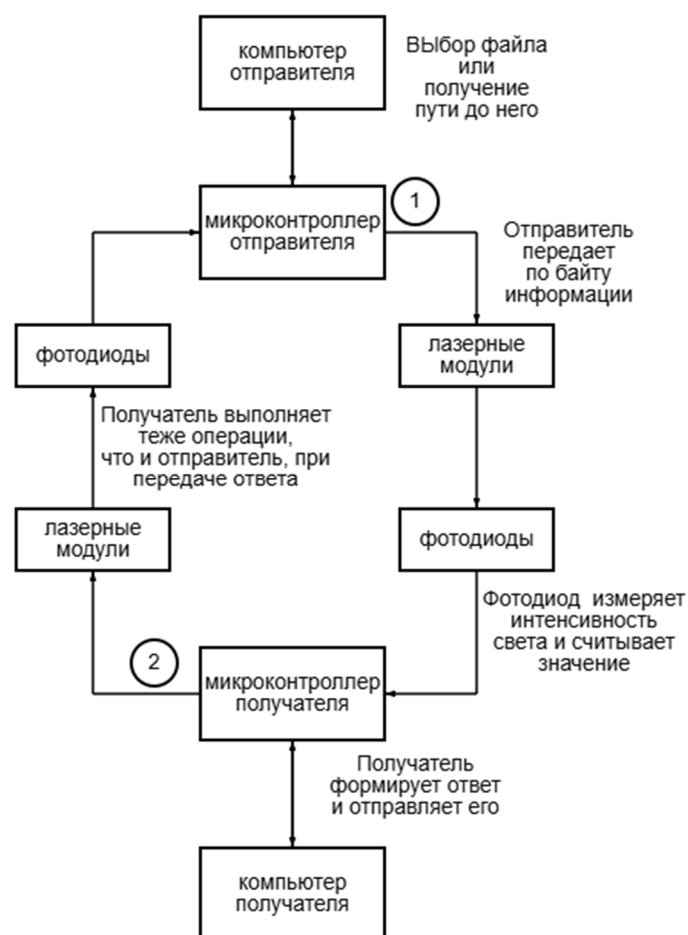


Рис. 1. Модель системы

Цикл обработки данных (рис. 3). Основной алгоритм функционирует в бесконечном цикле, ожидая входящие данные. При получении байта активируется специальная процедура обработки, которая реализует обработку в две стадии: декодирование младших и старших бит по 4 за раз. Каждый из четырех лазерных модулей последовательно активируется на 75 мс в соответствии с состоянием половины битов от входного байта. Например, если третий бит (маска $1 \ll 2$) установлен в 1, лазер на пине 6 включается. Одновременно считываются показания фотодиодов (аналоговые входы A0–A3), которые сравниваются с пороговыми значениями. Пороги были определены экспериментально для каждого канала отдельно. Декодирование старших 4 бит. Аналогичная процедура выполняется для битов 4–7, но с использованием тех же четырех фотодиодов.

Формирование ответа. Результирующий байт, полученный путем объединения показаний всех фотодиодов, отправляется на микроконтроллер получателя и его компьютер через UART. Функция `Serial.flush()` обеспечивает принудительную очистку буфера передачи, минимизируя задержки между операциями. Для исключения наложения импульсов после каждой итерации цикла светодиоды возвращаются в состояние LOW.

Оптимизация временных параметров. Ключевым параметром системы является длительность импульса ($onDuration = 75$ мс), подобранная экспериментально. Это значение компромиссно учитывает: время реакции фотодиода, стабилизацию аналоговых показаний аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), ограничения скорости передачи данных. Тестирование показало, что уменьшение длительности до 50 мс приводит к критичному росту уровня ошибок, а увеличение свыше 100 мс — к снижению пропускной способности. Корректность передачи подтверждается сравнением исходных и принятых данных с использованием механизма расшифрования на уровне персонального компьютера.

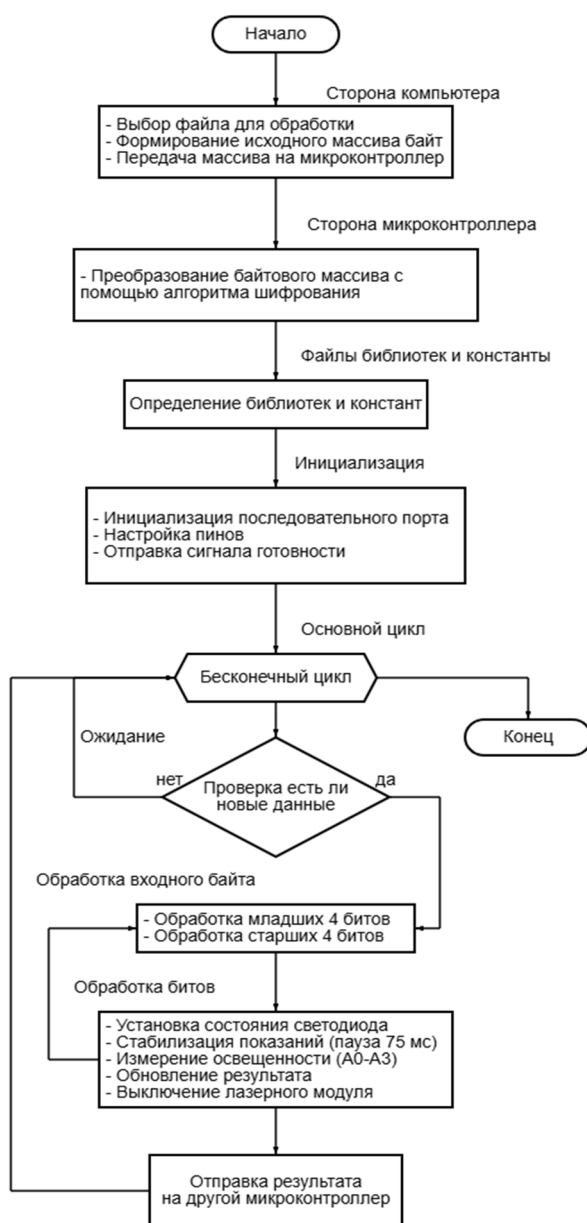


Рис. 2. Блок-схема алгоритма передачи данных

```

void processByte(byte inputByte) {
    resultByte = 0;

    // Обработка младших 4 бит
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        digitalWrite(ledPins[i], (inputByte & (1 << i)) ? HIGH : LOW);
        delay(onDuration);
        int reading = analogRead(ldrPins[i]);
        if (reading > thresholds[i]) resultByte |= (1 << i);
        digitalWrite(ledPins[i], LOW);
    }

    // Обработка старших 4 бит
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        digitalWrite(ledPins[i], (inputByte & (1 << (i + 4))) ? HIGH : LOW);
        delay(onDuration);
        int reading = analogRead(ldrPins[i]);
        if (reading > thresholds[i]) resultByte |= (1 << (i + 4));
        digitalWrite(ledPins[i], LOW);
    }

    Serial.write(resultByte); // Отправка результата
}

```

Рис. 3. Цикл обработки входящих байт

Результаты

Экспериментальные исследования показали, что длительность светового импульса критически влияет на надежность передачи данных. При фиксированном расстоянии между светодиодом и фоторезистором (20 см) оптимальное время импульса составило 75 мс, обеспечивая уровень ошибок менее 1 % (рис. 4). Уменьшение длительности до 50 мс приводило к резкому росту ошибок, тогда как увеличение свыше 75 мс не давало значимых преимуществ. Это связано с необходимостью компромисса между временем стабилизации фоторезистора и скоростью передачи. По временным характеристикам выявлено, что передача одного байта занимает 600 мс ($75 \text{ мс} \times 8 \text{ бит}$), что соответствует скорости 1,66 байт/с (рис. 5), что очень медленно по сравнению с другими технологиями беспроводной передачи данных [5, 6].

Основным преимуществом предложенного решения является отсутствие необходимости в усилителях мощности для передающей стороны и обработки сигнала для приемной. Использование лазерного модуля RKP-LD-I650A03 и светодиода BPW20RF подтвердило возможность построения системы на базе бюджетных компонентов. Однако для увеличения дальности передачи требуется модернизация схемы: внедрение усилителя тока для лазера и операционного усилителя для светодиода, что теоретически позволит увеличить расстояние в несколько раз.

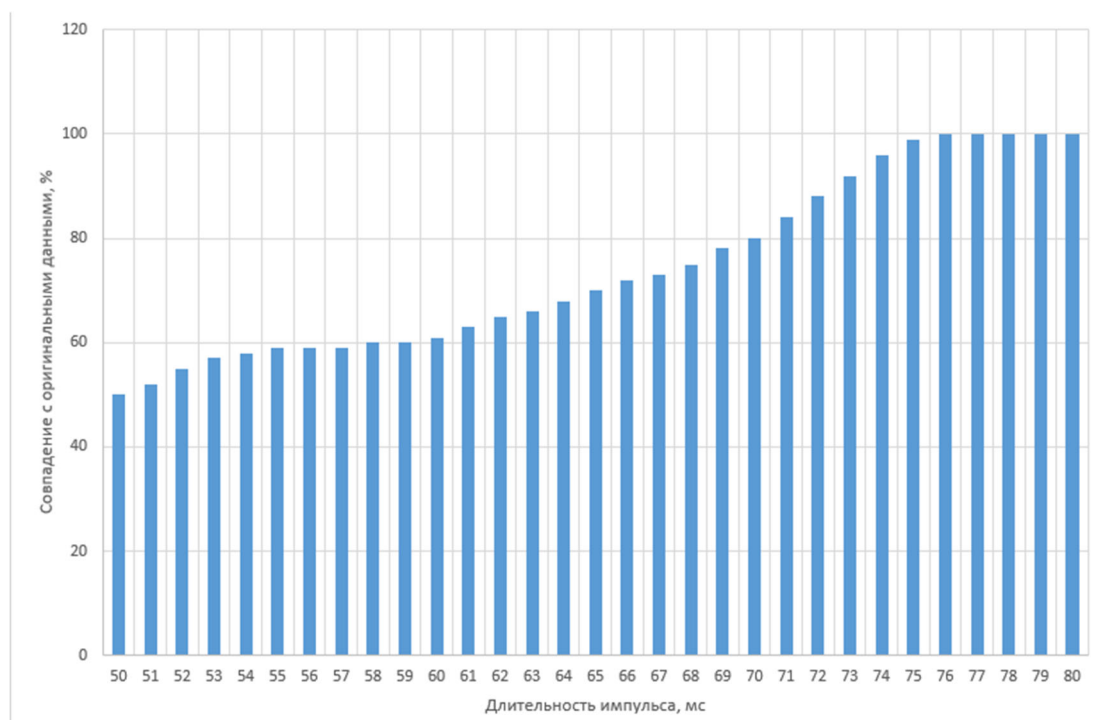


Рис. 4. Процент полученных ошибок в зависимости от длины светового импульса

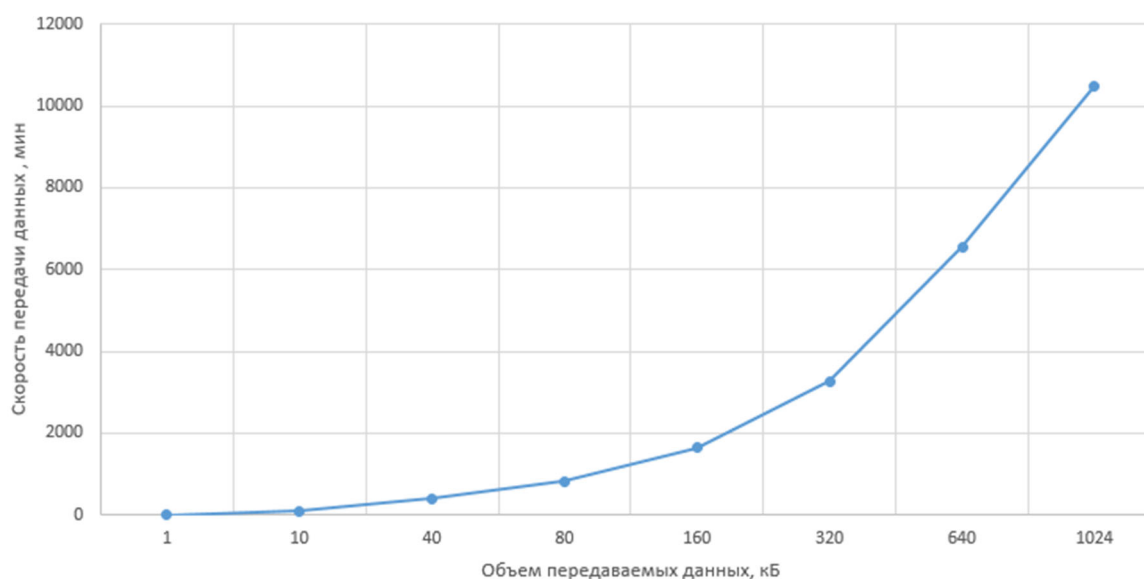


Рис. 5. Скорость передачи данных в минуту в зависимости от объема входных данных

Заключение

Разработан прототип системы защищенной оптической связи, использующий алгоритм Twofish и бюджетные компоненты (лазерный модуль RKP-LD-I650A03, фотодиод BPW20RF, микроконтроллеры Arduino Mega 2560). Экспериментально доказана возможность передачи данных на расстоянии 20 см без при-

менения усилителей и формирователей сигнала. Установлено, что скорость передачи (1,66 байт/с) и уровень ошибок (1-2 %) ограничены аппаратными характеристиками компонентов, но соответствуют требованиям задач с критически важной безопасностью и малыми объемами данных.

Перспективы развития системы связаны с интеграцией пакетной передачи и аппаратной оптимизацией, включая использование квантово-криптографических методов [7]. Предложенный подход может быть применен в изолированных средах, где исключено использование традиционных беспроводных технологий [5, 6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саенко М. А., Мельников Д. А., Данилов М. А. Анализ уязвимостей беспроводных каналов передачи информации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2023. – № 1(42). – С. 82-90.
2. Скрыпников А. Э., Денисенко В. В., Евтеева К. С. Защита данных по беспроводным каналам связи // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 8-2. – С. 35-38.
3. Пислар И. В., Браиловский В.В., Рождественская М.Г., Иванчук М.М. Возможности использования световых лучей видимого диапазона в системах скрытой передачи информации // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – № 1. – С. 27-36.
4. Гришин И. В. Перспективы развития беспроводных систем передачи данных на базе светодиодов видимого излучения / И.В. Гришин, В. А. Хричков, Т. Р. Ялунина // Труды учебных заведений связи. – 2017 – №3(2). – С. 68–76.
5. Оразова М. Скорость технологии Li-fi / М. Оразова, М. Якубов. // European science. – 2022 – №63 – С. 5–9.
6. Валитова А. Р. Li-Fi – новейшая технология передачи данных через светодиоды // Вестник науки. – 2019 – №5(14) – Том №4. – С. 466–468.
7. Дрон К. К. О перспективах совместного использования методов квантовой и классической криптографии / К.К. Дрон, О.В. Артюшкин // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. – 2018. – № 24. – С. 8-11.

© А. А. Медведев, Д. Н. Титов, 2025

В. С. Михайленко^{1✉}, Е. А. Усанькова¹

Стратегический план коммерциализации научно-технической продукции – микоризные препараты «ПлантаПлюс»

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: michailenko-vs@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена стратегическому плану коммерциализации микоризных препаратов «ПлантаПлюс». Основной темой исследования является внедрение инновационных решений в сельское хозяйство для повышения урожайности и здоровья растений. Целью исследования является разработка комплексного стратегического плана коммерциализации научно-технической продукции. В ходе работы использованы методы анализа рынка, конкурентоспособности компании и оценка потенциальных потребителей, что позволило глубже понять потребности целевой аудитории и выявить ключевые факторы успеха. Результаты исследования показывают, что микоризные препараты «ПлантаМик» обладают высоким потенциалом для эффективного внедрения на рынок, если придерживаться разработанному стратегическому плану. Выводы исследования акцентируют внимание на том, что научно-техническая продукция в области микробиологических препаратов способствует развитию экологически чистого сельского хозяйства, открывают новые возможности компании «ПлантаПлюс» в аграрной отрасли.

Ключевые слова: коммерциализация, стратегический план, научно-техническая продукция, микоризные препараты

V. S. Mikhailenko^{1✉}, E. A. Usankova¹

Strategic plan for commercialization of high-tech products – mycorrhizal preparation «PlantaPkus»

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail:michailenko-vs@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the strategic plan for the commercialization of mycorrhizal preparations "PlantaPlus". The main topic of the study is the implementation of innovative solutions in agriculture to increase crop yields and plant health. The purpose of the study is to develop a comprehensive strategic plan for the commercialization of high-tech products. In the course of the work, the methods of market analysis, the company's competitiveness and assessment of potential consumers were used, which allowed for a deeper understanding of the needs of the target audience and the identification of key success factors. The results of the study show that mycorrhizal preparations "PlantaMik" have high potential for effective introduction to the market, if the developed strategic plan is followed. The findings of the study emphasize that high-tech products in the field of microbiological preparations contribute to the development of environmentally friendly agriculture, open up new opportunities for PlantaPlus in the agricultural sector.

Keywords: commercialization, strategic plan, high-tech products, mycorrhizal preparations

Введение

Компания «ПлантаПлюс» ведет свою деятельность в области производства микробиологических препаратов и комплексных минеральных удобрений [1].

Микоризные препараты «ПлантаМик» – это серия уникальных продуктов, созданных на основе микоризообразующих грибов рода *Glomus s.l.*, которые значительно увеличивают зону поглощения питательных веществ и воды растениями. Это достигается благодаря эффекту «двойных/вторых корней», который способствует более эффективному усвоению ресурсов из почвы. Эти препараты способствуют образованию симбиотических отношений между грибами и корнями растений, что значительно увеличивает зону поглощения питательных веществ и воды.

Серия «ПлантаМик» включает пять специализированных формул: универсальный препарат, средства для комнатных растений, овощных и бахчевых культур, плодово-ягодных культур, а также для цветочных и декоративных культур. Эти препараты подходят для большинства видов растений, за исключением семейств крестоцветных, амарантовых, вересковых и орхидных.

Материалы и методы

Для эффективной коммерциализации микоризных препаратов «ПлантаМик» потребуется четкий стратегический план, который обеспечит успешное внедрение на рынок и устойчивый рост продаж.

Имеется зависимость количества урожая от количества внесенных удобрений. Данная зависимость имеет форму, напоминающую параболу. В начале графика видно, что при увеличении дозы удобрений наблюдается рост урожайности. Затем после достижения определенной точки (точки оптимальной корреляции) увеличение дозы удобрений может привести к снижению урожая и даже к вреду для растений. Точка оптимальной корреляции показывает максимальную эффективность использования удобрений. Она может варьироваться в зависимости от типа растений, условий почвы и климата. Микоризные препараты «ПлантаМик» способствуют эффективному усвоению питательных веществ, что позволяет достичь точку оптимальной корреляции при меньших дозах по сравнению с традиционными удобрениями. Данные для исследования взяты у компании «ПлантаПлюс». На основе этих данных построен график, показывающий зависимость урожайности растений от количества внесенных удобрений, определена точка оптимальной корреляции. Ниже изображен прогноз урожайности после применения микоризных препаратов (рис. 1).

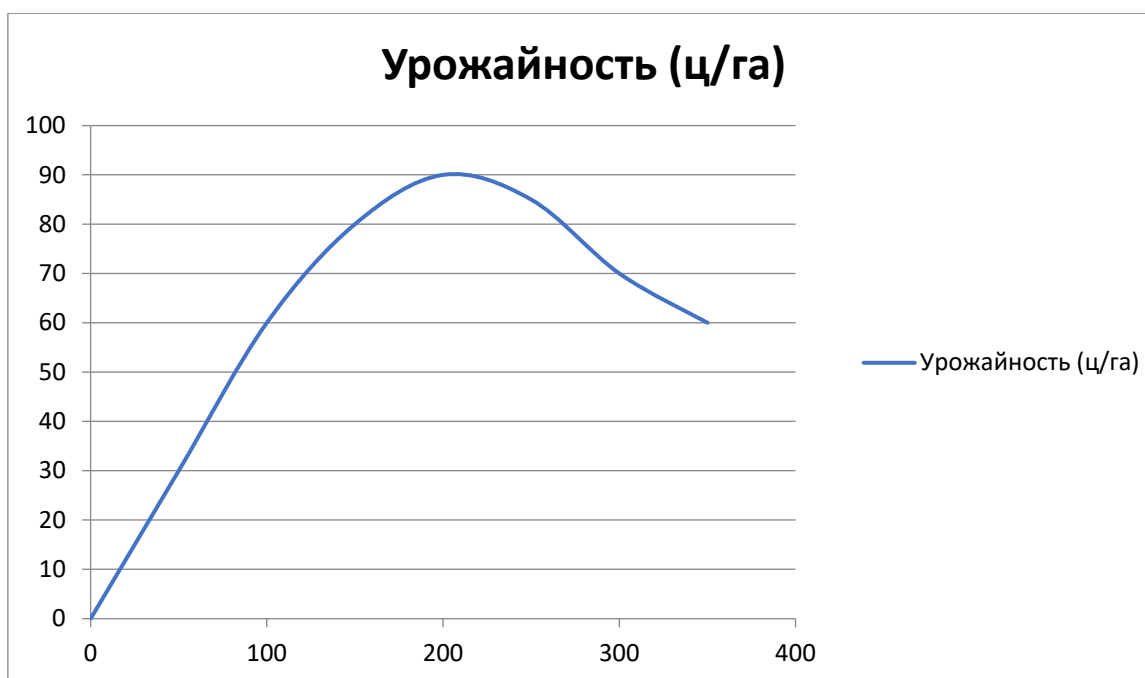


Рис. 1. Прогнозы урожайности после применения микоризных препаратов

Цель стратегического плана коммерциализации представить «ПлантаМик» как лидирующий бренд на рынке микоризных препаратов в России и СНГ в течение трех лет.

Задачи:

- увеличить осведомленность о продукте среди целевой аудитории;
- достичь отметки в 10 % доли рынка микоризных препаратов через два года;
- обеспечить уровень удовлетворенности клиентов 90 % и выше.

Для достижения поставленных целей необходимо провести детальный анализ рынка. Он позволит выявить ключевые тенденции на рынке, конкурентные преимущества продукта и целевую аудиторию.

Анализ рынка.

Продукты НВП «БашИнком» имеют более доступные цены по сравнению с продуктами ООО «Гарденмарт». Это делает их более привлекательными для потребителя, например для фермеров и садоводов [2].

Продукты с меньшим объемом от компании ООО «Зеленое Сечение» могут быть интересны для начинающих садоводов или для тех, кто хотел бы протестировать продукт перед покупкой больших объемов [3].

Для различных предпочтений потребителей компания НВП «БашИнком» предлагает различные объемы продукции (30 г и 1 л) [4].

При анализе рынка микоризных препаратов важно учитывать репутацию бренда и отзывы потребителей.

Для успешной конкуренции необходимо разработать эффективную маркетинговую стратегию, которая будет делать акцент на уникальных преимуще-

ствах «ПлантаМик», такие как эффективность, экологичность и простота использования.

Для успешного внедрения на рынок микоризных препаратов «ПлантаМик» следует:

- рассмотреть возможность внедрения различных объемов упаковки для удовлетворения потребностей разных сегментов рынка;
- разработать конкурентоспособную ценовую политику;
- активно работать над созданием положительного имиджа бренда через качественный контент и отзывы пользователей;
- уделить внимание маркетинговым активностям для повышения узнаваемости продукта.

Эти шаги помогут установить «ПлантаМик» как сильного игрока на рынке микоризных препаратов в России и СНГ.

Сегментация потребителей и анализ их потребностей поможет эффективно конкурировать на рынке. Необходимо понимать нужды каждой группы сегментов для более точного маркетингового исследования.

Например, садоводы и огородники-любители — это основная часть рынка микоризных препаратов. Они ищут доступные и простые в использовании решения для улучшения роста растений на своих дачах или в домашних условиях.

Профессиональные агрономы и фермеры стремятся повысить урожайности своих культур.

Производители растений ищут способы улучшить качество своей продукции и увеличить срок ее хранения.

Ландшафтные дизайнеры заинтересованы в использовании эффективных средств для улучшения состояний растений в своих проектах.

Фермерские кооперативы придерживаются принципов устойчивого развития и органического земледелия.

Розничные продавцы стремятся расширить ассортимент своих товаров.

Уникальное торговое предложение поможет продвинуть товар на рынок. «ПлантаМик» — экологически чистый помощник для Ваших растений! Увеличьте урожай и улучшите здоровье своих растений с помощью нашего микоризного препарата, который заботится о природе и дает видимые результаты!».

Ниже представлены конкретные предложения для продвижения микоризных препаратов «ПлантаМик»:

Организуйте регулярные вебинары и семинары для садоводов и агрономов, на которых эксперты расскажут о преимуществах микоризных препаратов, их применении и влиянии на урожайность. Это поможет укрепить доверие к продукту и повысить осведомленность о его преимуществах.

Соберите и опубликуйте кейсы с примерами успешного применения «ПлантаМик» в различных условиях. Укажите конкретные цифры по увеличению урожайности и улучшению здоровья растений.

Установите партнерские отношения с агрономами и экспертами в области сельского хозяйства. Они могут рекомендовать ваш продукт своим клиентам.

Предложите потенциальным клиентам бесплатные пробные образцы «ПлантаМик», чтобы они могли оценить эффективность продукта на своих участках. Это поможет убедить их в необходимости покупки.

Создайте активное присутствие в социальных сетях, публикуйте контент о микоризе, уходе за растениями и агрономических практиках. Используйте видеоуроки или статьи для привлечения внимания к вашему продукту.

Участвуйте в сельскохозяйственных выставках и ярмарках. Демонстрируйте свой продукт, проводите мастер-классы по его применению и налаживайте контакты с потенциальными клиентами.

Разработайте программу лояльности для постоянных клиентов. Предлагайте скидки или бонусы за повторные покупки.

Сотрудничайте с научными учреждениями для проведения исследований по эффективности «ПлантаМик». Обязательно публикуйте результаты исследований. Это повысит авторитет вашего продукта.

Собирайте обратную связь Ваших клиентов, публикуйте их на сайте. Реальные истории повышают доверие к новым продуктам.

Запустите целевую рекламу.

Эти стратегии помогут эффективно продвигать препараты «ПлантаМик» на рынке и увеличить их узнаваемость среди потребителей.

Предлагаются направления и ресурсы, где можно найти информацию о грантах и конкурсах для представления продукта и получения финансовой поддержки в Новосибирской области:

Фонд содействия инноваций предлагает различные программы поддержки для стартапов и инновационных проектов. Программа направлена на поддержку компаний, завершивших стадию НИОКР и планирующих создание или расширение производства инновационной продукции. Принимать участие в конкурсе по данной программе могут юридические лица, относящиеся к категории субъектов малого предпринимательства в соответствии с федеральным законом № 209-ФЗ от 24.07.2007:

- не имеющие действующих договоров гранта с Фондом;
- завершившие стадию НИОКР;
- имеющие опыт продаж наукоемкой продукции.

Предпочтение отдается динамично развивающимся компаниям, реализующим импортозамещающие проекты с высокой наукоемкостью и перспективой коммерциализации.

Параметры поддержки:

- размер гранта – не более 30 млн рублей;
- срок гранта – 12 месяцев (2 этапа по 6 месяцев);
- внебюджетное софинансирование (из собственных средств или средств инвестора) – не менее 50% суммы гранта;
- направление расходов – коммерциализация результатов НИОКР.

Министерство сельского хозяйства Новосибирской области:

На сайте министерства могут быть размещены объявления о конкурсах и грантах, связанных с аграрным сектором.

Региональные бизнес-инкубаторы.

При коммерциализации микоризных препаратов могут возникнуть различные риски, которые важно учитывать для успешного запуска и продвижения продукта на рынок:

- при научных и технологических рисках могут возникнуть проблемы с производством, например трудности в масштабировании производства или поддержании качества продукта. Не исключается риск в неэффективности продукта, возможность того, что препараты не будут работать как ожидается;

- риски, связанные с рынком, могут быть в изменении потребительских предпочтений. Конкуренция со стороны других потребителей может также снизить долю рынка;

- новые регуляции могут ограничить использование микоризных препаратов или увеличить затраты на соблюдение норм. Необходимость получения разрешений и сертификатов может затянуть процесс выхода на рынок;

- могут возникнуть проблемы с привлечением инвестиций или недостаток средств для маркетинга. Возможны дополнительные затраты на исследования и разработки;

- плохие отзывы от первых покупателей могут негативно сказаться на репутации продукта. Неправильное его позиционирование и недостаточная осведомленность увеличивает риск;

- возможны трудности с логистикой и нехваткой квалифицированного персонала.

Заключение

Стратегический план коммерциализации микоризных препаратов «ПлантаМик» ориентирован на сочетание научных исследований, эффективного маркетинга и стратегического партнерства. Это позволит установить продукт на рынке и закрепить потенциальных потребителей.

Микоризные препараты «ПлантаМик» предлагают чистые и эффективные решения для повышения урожайности и здоровья растений. Коммерциализация продуктов – это возможность улучшить сельское хозяйство. Однако существуют различные риски, такие как научные, рыночные или финансовые.

Эффективная маркетинговая стратегия и активное взаимодействие с клиентами помогут создать положительный имидж продукта и укрепить его позиции на рынке.

С учетом всех факторов, перечисленных в данной работе, компания «ПлантаПлюс» может не только минимизировать риски, но и максимально использовать потенциал микоризных препаратов для достижения устойчивого успеха. Инновации в этой области значительно способствуют развитию экологически чистого сельского хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Биотехнологическое предприятие ООО «ПлантаПлюс» / URL : <https://planta-plus.ru/>
- 2 ООО «Гарденмарт» / URL : <https://gardenmart24.ru/>

- 3 ООО НВП «Башинком» / URL : <https://www.bashinkom.ru/>
- 4 Торговая марка «Зеленое сечение» / URL : <https://planeta-leta.com/>
- 5 Аристов О. В. Управление качеством : учебник / О. В. Аристов. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 224 с.
- 6 Афонин А. М. Управление проектами : учебное пособие / А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев, С. А. Петрова. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. – 184 с.
- 7 Бизнес-модели в управлении устойчивым развитием предприятий : учебник / А.Д. Бобрышев, В.М. Тумин, К.М. Тарабрин [и др.] ; под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. А.Д. Бобрышева, д-ра экон. наук, проф. В.М. Тумина. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 289 с.
- 8 Борискова Л. А. Управление разработкой и внедрением нового продукта : учебное пособие / Л. А. Борискова, О. В. Глебова, И. Б. Гусева. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 272 с.
- 9 Бронникова Т. С. Разработка бизнес-плана проекта : учебное пособие / Т. С. Бронникова – 2-е издание – М. : ИНФРА-М, 2022. – 215 с.
- 10 Великанова С. С. Основы проектной деятельности : учебное пособие / С. С. Великанова. – М. : Директ-Медиа, 2022. - 316 с.
- 11 Иванов Г. Г. Развитие торговых организаций в современной экономике : монография / Г. Г. Иванов, А. О. Зверева. – 3-е изд. – М. : Дашков и К, 2020. – 160 с.
- 12 Казакова Н. А. Финансы и финансовый анализ : учебник / Н.А. Казакова, В.Г. Когденко, М.В. Мельник. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 201 с.
- 13 Путилов А. В. Коммерциализация разработок и технологий: Конспект лекций. – М., 2017. – 225 с.
- 14 Попов В.Л. Управление инновационными проектами : учебное пособие / В.Л. Попов, Н.Д. Кремлев, В.С. Ковшов. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 336 с.
- 15 Попов Ю. И. Управление проектами : учебное пособие / Ю. И. Попов, О. В. Яковенко. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 208 с.
- 16 Поташева Г. А. Управление проектами (проектный менеджмент) : учебное пособие / Г. А. Поташева. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 224 с.
- 17 Совершенствование технологий и инструментов в развитии бизнеса : сборник научно-исследовательских работ студентов по итогам XI Московской научно-практической конференции «Студенческая наука-2016» 18 ноября 2019 года. г. Москва / Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, кафедра «Экономика организации : под общ. ред. д.э.н., проф. А. В. Шарковой и к.э.н., доц. Д. В. Швандар. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2019. – 141 с.
- 18 Тихомирова, О. Г. Управление проектами : практикум : учебное пособие / О. Г. Тихомирова. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 273 с.
- 19 Тихомирова О. Г. Управление проектами : учеб. пособие – М. : ИНФРА-М, 2023. – 273 с.
- 20 Тихомирова О. Г. Управление проектом : комплексный подход и системный анализ : монография / О. Г. Тихомирова. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 300 с.
- 21 Фомичев А. Н. Управление проектами : учебник для бакалавров / А. Н. Фомичев. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2023. – 257 с.
- 22 Управление интеллектуальной собственностью в экономике знаний : правовое регулирование и коммерциализация : монография. – Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 348 с.
- 23 Чурсин А. А. Управление инновациями : учебник / А.А. Чурсин, М.М.-С. Абуева. — М. : ИНФРА-М, 2024. — 331 с.
- 24 Щербаков В. Н. Финансирование и коммерциализация инноваций : учебник для магистров. – М., 2018. – 492 с.

© В. С. Михайленко, Е. А. Усанькова, 2025

Е. С. Папшева¹✉, А. С. Гордиенко¹

Применение методов искусственного интеллекта при мониторинге территорий

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: papshevaekaterina26@gmail.com.

Аннотация. Дается краткий обзор возможностей применения систем искусственного интеллекта для мониторинга территорий. На основе обзора представлена схема классификация методов машинного обучения, применяемых для обработки снимков и видео. Проблема объекта исследования связана с необходимостью повышения точности и скорости мониторинга больших и труднодоступных территорий, а также обработкой больших объемов разнородных данных. Целью исследования является улучшение процессов мониторинга и анализа состояния территорий с использованием систем искусственного интеллекта. Результаты исследования показали эффективность алгоритмов Minimum Distance, SVM, Random Forest и Artificial Neural Network, реализованных в SAGA. При этом Artificial Neural Network позволяет выделить детали, которые не распознаются другими методами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мониторинг земель, дистанционное зондирование земли

E. S. Papsheva¹✉, A. S. Gordienko¹

Application of artificial intelligence methods for monitoring territories

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: papshevaekaterina26@gmail.com.

Abstract. A brief overview of the possibilities of using artificial intelligence systems for monitoring territories is given. Based on the review, a block diagram of the classification of machine learning methods used to process images and video is presented. The problem of the object of study is associated with the need to increase the accuracy and speed of monitoring large and inaccessible territories, as well as the processing of large volumes of heterogeneous data. The aim of the study is to improve the processes of monitoring and analysis of the state of territories using artificial intelligence systems. The results of the study showed the effectiveness of the Minimum Distance, SVM, Random Forest and Artificial Neural Network algorithms implemented in Saga. At the same time, Artificial Neural Network allows you to highlight parts that are not recognized by other methods.

Keywords: artificial intelligence, land monitoring, remote sounding of the Earth

Введение

В работе представлен обзор исследований, посвященных применению методов искусственного интеллекта (ИИ) при мониторинге территорий. Одними из наиболее известных работ являются исследования, опубликованные в журналах «Remote Sensing» и «Environmental Monitoring and Assessment», в которых рас-

смаатриваются различные подходы к обработке спутниковых данных с использованием машинного обучения. Несмотря на значительный прогресс в этой области, остаются нерешенные проблемы, такие как интеграция данных из различных источников, проблемы интерпретации результатов и отсутствие стандартов для оценки точности прогнозов.

Общая тема исследования направлена на улучшение процессов мониторинга и анализа состояния территорий с использованием систем ИИ, что становится особенно актуальным в условиях изменения климата и урбанизации.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть существующие системы ИИ для обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ);
- применить различные методы ИИ к обработке ДДЗ;
- сделать выводы.

Методы и материалы

Методы ИИ – это обширная область знаний, одной из составляющих которой является машинное обучение, в свою очередь объединяющее методы обработки фото и видеоинформации. Таким образом, в задачах мониторинга по данным дистанционного зондирования Земли используются методы машинного обучения, которое является не только быстрым, но и эффективным [1].

Метод сверточных нейронных сетей используется для обработки данных, имеющих сеточную структуру, а именно изображений и видео. Анализируя пиксели, расположенные близко друг к другу, сверточные нейросети решают две задачи, а именно распознавание и классификацию. Рассмотрим этапы работы сверточных нейронных сетей [1]:

- подготовка изображения (применяются системы обработки изображений, картинка нейросетью воспринимается в виде трехмерных массивов матриц или чисел);
- применение фильтров к изображению (обрабатывая изображение, фильтр умножает значение не только выбранного пикселя, но и значения его соседей, ориентируясь на матрицу фильтра, полученные произведения складывают, заменяя исходное значение пикселя получившемся числом);
- пулинг (пулинговый слой уменьшает значение карт признаков, убирая лишнее, выбирает только важные данные);
- повторение процесса (возможность, снова применить сверточный слой и повторить процесс любое количество раз).

Метод глубоких временных нейронных сетей предполагает работу с последовательностями временной длины, то есть существует возможность обрабатывать данные, у которых отсутствуют значения длин. Временные нейронные сети способны выделять объекты на карте, например, людей, дорожные знаки и т.д., разделяя их на различные категории, а также анализировать движущиеся объекты на протяжении нескольких снимков [5].

YOLO – один из методов ИИ, направленный на решение задачи обнаружения объектов. В отличие от других систем ИИ, обладающих похожей функцией, YOLO обрабатывает снимок полностью за один запуск программы, ускоряя процесс анализа данных.

Принцип работы ИИ YOLO сводится к разбиению изображения на сетку. Анализируемое изображение делится на равные ячейки сетки. Каждая из которых отвечает за обнаружение объектов внутри этой ячейки. После обработки всех ячеек, происходит объединение результатов. Выводятся итоговые объекты на изображении.

Fully Convolutional Networks (FCN) решает задачи сегментации изображений. Это усовершенствованные обычные сверточные сети, однако вместо конечного слоя классификатора используются полносверточные слои для получения семантической карты изображения. Принцип работы основан на архитектуре классических сетей, в которых применяются свертки, пулинг и активации для извлечения признаков из входного изображения. Вместо полносвязанной части, которая сжимала бы пространственное представление до одномерного вектора, FCN работает только со сверточными слоями, сохраняя пространственную структуру изображения. Еще одной особенностью FCN является увеличение разрешения входных карт признаков, благодаря пропуску обратной процедуры. Результатом работы данной сети ИИ является карта признаков, где каждый пиксель изображения обозначает конкретный класс.

Time series analysis with deep learning models используется для анализа временных рядов, представляющих собой последовательно измеренные во времени данные. Задача сети предсказать будущие значения на основе предыдущих наблюдений, найти скрытые закономерности [3].

K-means clustering является одним из самых популярных алгоритмов кластеризации, разделяющий данные на несколько групп, чтобы объекты внутри каждой группы были максимально похожи друг на друга, в то время как между группами были максимальные различия. K-means минимизирует сумму квадратов расстояний от каждого объекта до центра его кластера.

Обработка пространственно-временных данных требует современных подходов, обычно ориентированных на совмещение различных алгоритмов и методов обработки трехмерных данных. Нейронные сети, конечно, упрощают процесс обработки ДДЗ, но требуется значительная формализация выбора наиболее актуальной архитектуры нейронных сетей с точки зрения входных данных, самой задачи, а также точности результатов при обработке ДДЗ [4].

Метод опорных векторов заключается в разделении объектов на классы, а также дешифрирования классов изменений на снимках. Система получает набор данных, в котором каждый объект уже помечен верной категорией. ИИ находит гиперплоскость, которая максимально отделяет точки разных классов [4].

Классификация методов машинного обучения представлена на рис.1.

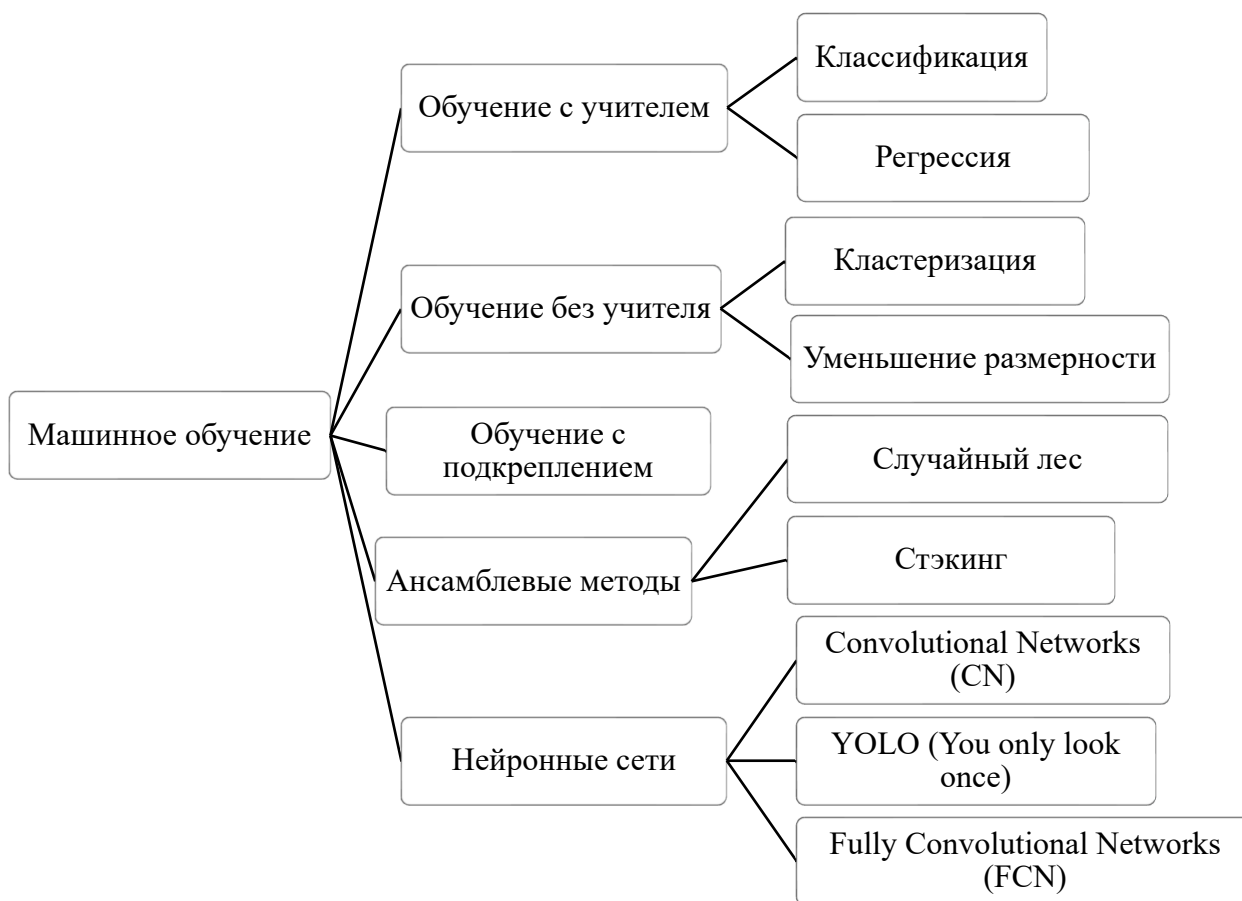


Рис. 1. Методы обработки данных дистанционного зондирования с помощью искусственного интеллекта

При обработке данных дистанционного зондирования с помощью метода минимальных расстояний ИИ рассматривает значения яркостей пикселей как вектора в пространстве спектральных признаков. Между этими значениями и значениями векторов эталонных участков считается спектральное расстояние. Если расстояние меньше, то пиксель определен и значение можно отнести к эталону [7].

Алгоритм «случайный лес» создает множество решающих деревьев и использование их для предсказания классов объектов. Каждое дерево строится на случайном подмножестве обучающих данных и случайном подмножестве признаков. Деревья отличаются друг от друга, позволяя уменьшить эффект от переобучения и повысить качество предсказаний. Для каждого дерева создается случайная подвыборка из исходного набора данных с возвращением. То есть некоторые объекты могут быть выбраны несколько раз. Для каждой подвыборки строится дерево решений, на каждом узле дерева выбирается случайное подмножество признаков для разделения [5].

Практическое освоение навыков применения методов ИИ осуществлялось по многоспектральному снимку Landsat 5 Thematic Mapper (TM), полученному для территории г. Новосибирска с пространственным разрешением 30 м (рис. 2).

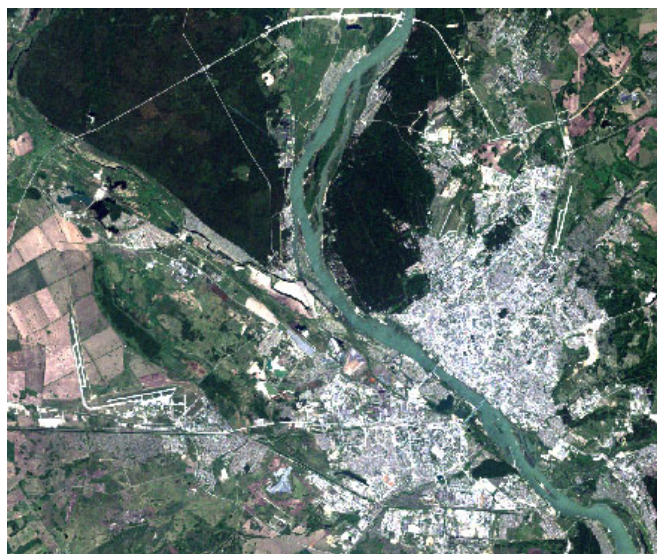


Рис. 2. Исходный снимок

Для проведения сравнительного анализа работы алгоритмов классификации снимка использовались методы минимальных расстояний (Minimum Distance), опорных векторов (SVM), «случайный лес» (Random Forest) и искусственная нейронная сеть (Artificial Neural Network), реализованные в свободном ПО SAGA на основе единой обучающей выборки [6].

Результаты

Рассмотрим примеры применения ИИ для обработки ДДЗ Земли разными методами.

На рис. 3 представлены цветовые обозначения классов.

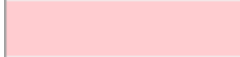
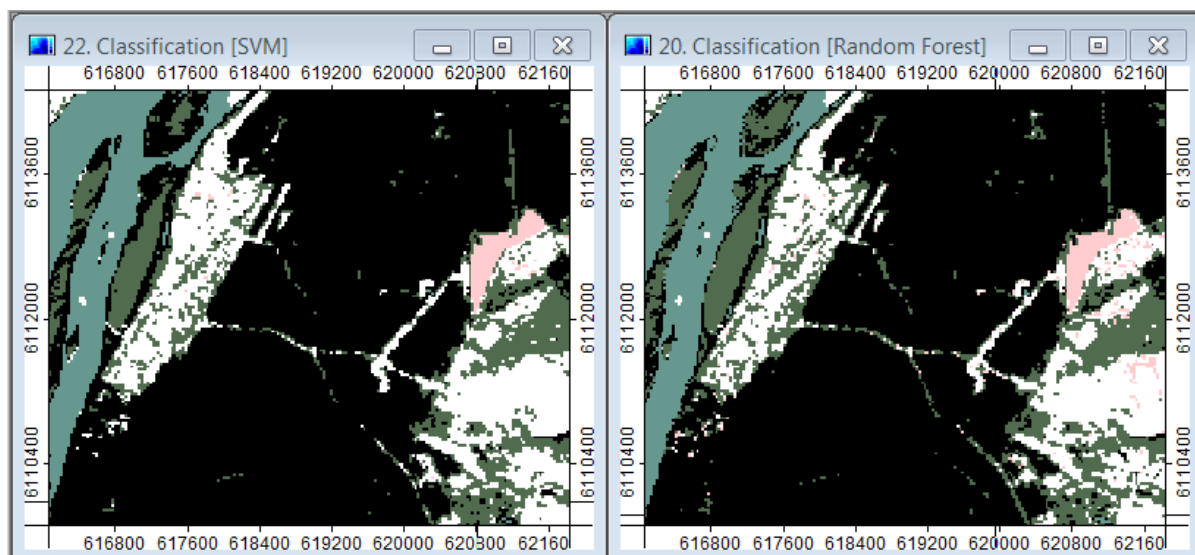
	Лес
	Гидрография
	Город
	Почвы
	Травянистая растительность

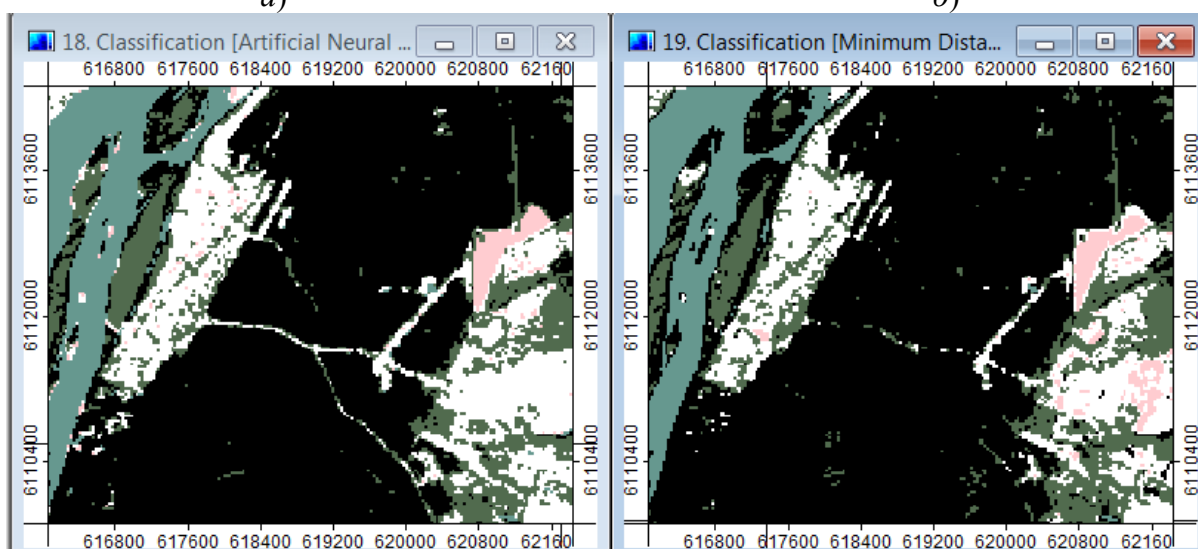
Рис. 3. Цветовые обозначения классов

Результаты классификации снимка методами Minimum Distance, SVM, Random Forest и Artificial Neural Network представлены на рис. 4 и 5.



а)

б)



в)

г)

Рис. 4. Результаты классификации:
а) SVM; б) Random Forest; в) Artificial Neural Network; г) Minimum Distance

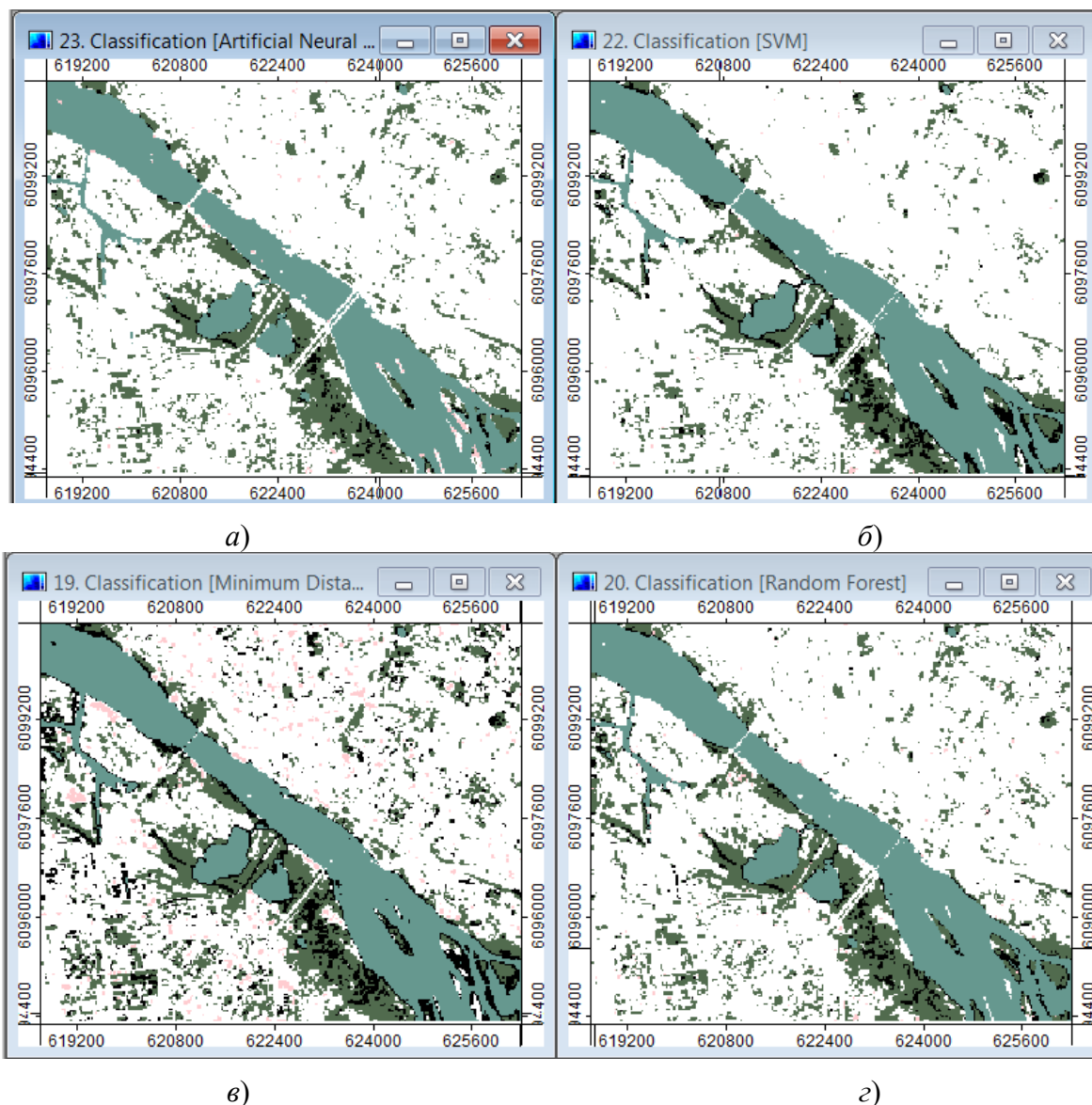


Рис. 5. Результаты классификации:
а) Artificial Neural Network; б) SVM; в) Minimum Distance; г) Random Forest

Анализ результатов классификации космического снимка на основе выбранных методов машинного обучения показал их эффективность. Можно отметить, что метод на основе нейронных сетей позволил выделить такие объекты, как мост через реку (рис. 5а) и дорогу в лесу (рис. 4в), которые не распознались другими методами.

Заключение

В результате данного исследования выполнен обзор методов ИИ, применяемых при мониторинге территорий по космическим снимкам, на основе которого представлена схема классификации методов машинного обучения.

Применение алгоритмов ИИ для обработки космических снимков, реализованных в ПО SAGA, показало их эффективность для решения задач мониторинга по ДДЗ.

Дальнейшие исследования следует направить на изучение стабильности работы выбранных алгоритмов при использовании разновременных космических снимков и выявлении объектного состава для данных различного пространственного разрешения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акопов Н.Г., Кузнецова Е.А. Особенности применения машинного обучения при прогнозировании потребления энергетических ресурсов. Интерэкспо Гео-Сибирь – 2024. Т. 2. № 3. С. 204-207.
2. Басаргин А.А. Разработка алгоритма семантической сегментации на основе признаков для разделения наземных и неназемных поверхностей. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2023. Т. 28. № 4. С. 5-11.
3. Леоненко А.Р., Даниловский К.Н., Петров А.М. Применение свёрточных нейронных сетей для обработки и неитерационной экспресс-инверсии данных электрокаротажа при исследовании сложнопостроенных проницаемых отложений//Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. Т. 2. № 2. С. 123-129
4. Онлайн хранилище курсов работы в ГИС сервисах [Электронный ресурс] Официальный сайт. – Режим доступа: https://docs.nextgis.ru/docs_ngcourses.
5. Независимый информационный ресурс посвященным Географическим информационным системам (ГИС) и Дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ) [Электронный ресурс]. Официальный сайт. – <https://gis-lab.info/qa/atcorr-dos.html>.
6. Степанов И.Ю. Использование методов машинного обучения в геоинформационных моделях при решении задач геофизической разведки // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2024. Т. 29. № 2. С. 108-117.
7. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А. Классификация метагеосистем с применением моделей машинного обучения// Геодезия и картография. 2022. – Т. 83. № 7. С. 25-38.
8. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А., Занозин В.В., Бармин А.Н. Разработка алгоритма классификации данных дистанционного зондирования земли с применением методов глубокого машинного обучения для анализа геосистемной модели территории// Геодезия и картография. 2021. Т. 82. № 4. С. 54-64.

© Е. С. Пашева, А. С. Гордиенко, 2025

А. И. Подлегаев^{1✉}, В. В. Селифанов¹

Аудит информационной безопасности в оптотехнических системах, созданных с использованием технологии квантового распределения ключей

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sanyi.p@yandex.ru

Аннотация. В современном мире информационная безопасность становится одним из ключевых факторов, обеспечивающих устойчивость и надежность функционирования различных информационных систем. С развитием технологий передачи данных и ростом объемов обрабатываемой информации возрастает и сложность задач по защите конфиденциальности, целостности и доступности данных. В этом контексте квантовые технологии, в частности квантовое распределение ключей, открывают новые перспективы для создания практически неуязвимых систем защиты информации. Оптотехнические системы, использующие технологию квантового распределения ключей, представляют собой уникальное сочетание классических и квантовых компонентов, обеспечивающих высокий уровень безопасности передачи данных. Однако, несмотря на теоретическую защищенность, такие системы остаются уязвимыми к ряду специфических угроз, связанных с физическими особенностями квантовых каналов, аппаратными ограничениями и возможными атаками на классические элементы инфраструктуры. В связи с этим возникает необходимость проведения комплексного аудита информационной безопасности, позволяющего выявить потенциальные уязвимости и оценить эффективность существующих защитных мер. Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в надежной защите данных в условиях развития квантовых технологий и угроз, связанных с возможными атаками на квантовые каналы связи, основной проблемой является необходимость комплексной оценки их безопасности с учетом специфики квантовых протоколов и физических характеристик оборудования. Результаты исследования подтверждают высокую степень защищенности систем с квантовым распределением ключей, однако выявляют ряд факторов, влияющих на снижение уровня безопасности, таких как параметры оптических каналов и особенности реализации протоколов. Главный вывод состоит в том, что имитационное моделирование является эффективным инструментом для проведения аудита и оптимизации защиты квантово-оптических систем. Данная работа способствует развитию методологии оценки безопасности современных квантовых коммуникаций и может быть полезна для специалистов в области информационной безопасности и квантовой криптографии.

Ключевые слова: аудит, оценка защищенности, имитационное моделирование, оптотехнические системы, квантовое распределение ключей

A. I. Podlegaev^{1✉}, V. V. Selifanov¹

Information security audit in optotechnical systems created using quantum key distribution technology

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sanyi.p@yandex.ru

Abstract. In the modern world, information security is becoming one of the key factors ensuring the stability and reliability of various information systems. With the development of data transmission technologies and the increasing volume of processed information, the complexity of tasks related to

protecting the confidentiality, integrity, and availability of data is also growing. In this context, quantum technologies, in particular quantum key distribution (QKD), open up new prospects for creating practically invulnerable information protection systems.

Optotechnical systems that use quantum key distribution technology represent a unique combination of classical and quantum components, providing a high level of data transmission security. However, despite their theoretical security, such systems remain vulnerable to a number of specific threats related to the physical characteristics of quantum channels, hardware limitations, and possible attacks on classical elements of the infrastructure. In this regard, it becomes necessary to conduct a comprehensive information security audit to identify potential vulnerabilities and assess the effectiveness of existing protective measures. The relevance of this research is driven by the growing need for reliable data protection amid the development of quantum technologies and threats associated with possible attacks on quantum communication channels. The main challenge is the necessity of a comprehensive security assessment, taking into account the specifics of quantum protocols and the physical characteristics of the equipment. The research results confirm the high level of security of QKD systems, but also reveal several factors that can reduce the level of protection, such as the parameters of optical channels and the specifics of protocol implementation. The main conclusion is that simulation modeling is an effective tool for auditing and optimizing the protection of quantum-optical systems. This work contributes to the development of methodologies for assessing the security of modern quantum communications and may be useful for specialists in information security and quantum cryptography.

Keywords: audit, security assessment, simulation modeling, optotechnical systems, quantum key distribution

Введение

Современные вызовы информационной безопасности требуют принципиально новых подходов к защите данных, особенно в условиях развития квантовых технологий. Квантовое распределение ключей (КРК), основанное на фундаментальных принципах квантовой механики, рассматривается как перспективное решение для создания неуязвимых систем передачи информации [1]. Протоколы типа BB84, предложенные еще в 1984 году, заложили основу для реализации ϵ -секретности, однако их практическое внедрение в оплотехнические системы выявило ряд проблем, связанных с аппаратными ограничениями и атаками на классические компоненты инфраструктуры [2].

Работы Науменко А.П. и Щербаченко А.А. [3] демонстрируют, что стойкость КРК-систем зависит не только от квантовых протоколов, но и от корректности реализации классических алгоритмов аутентификации. Исследования Positive Technologies [4] выявили уязвимости, связанные с генерацией псевдослучайных чисел и атаками на оптоволоконные линии, что требует интеграции квантовых генераторов случайности. При этом анализ уязвимостей протоколов BB84, SARG04 и E91 указывает на необходимость совершенствования методов обнаружения атак типа «intercept-resend».

Несмотря на теоретическую защищенность КРК, практические реализации сталкиваются с проблемами:

- зависимость безопасности от параметров оптических каналов (затухание, шумы);
- уязвимости классических компонентов (аутентификация, управление ключами);

– отсутствие стандартизированных методик аудита, учитывающих гибридную природу оптотехнических систем [5].

Данная работа направлена на разработку комплексного подхода к аудиту безопасности КРК-систем, объединяющего анализ квантовых протоколов, физических характеристик оборудования и классических инфраструктурных элементов. Задачи включают:

- разработку имитационной модели для оценки влияния параметров оптических каналов на стойкость ключа;
- формирование критериев оценки эффективности защитных механизмов в гибридных квантово-классических системах.

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации требований к безопасности КРК-систем, а практическая – в создании инструментария для аудита, адаптированного к специфике оптотехнических решений. Результаты исследования могут быть применены при проектировании квантовых сетей связи и сертификации оборудования в соответствии с нормативными требованиями.

Методы и материалы

В данном исследовании применен комплекс теоретических и имитационных методов для анализа и оценки информационной безопасности оптотехнических систем, использующих технологию КРК.

Основой исследования послужил систематический обзор научных публикаций в области квантовой криптографии и информационной безопасности [6–19], включая работы по протоколам КРК (BB84, E91 и др.), а также современные стандарты и рекомендации по аудиту безопасности (ISO/IEC 27001, ETSI QKD 007) [20, 21]. Анализ позволил выявить ключевые угрозы и уязвимости, а также определить требования к методам аудита.

Для оценки безопасности КРК-систем была разработана имитационная модель [22], которая учитывает:

- физические параметры оптических каналов (затухание, уровень шума);
- особенности реализации квантовых протоколов (выбор состояний, параметры измерений);
- влияние классических компонентов инфраструктуры (аутентификация, управление ключами);
- потенциальные сценарии атак (перехват, вмешательство, подмена данных).

Модель построена на основе алгоритмов Монте-Карло, позволяющих многократно имитировать процесс передачи и обработки ключей с учетом случайных факторов и ошибок.

Ниже приводятся основные формулы и показатели [23].

Квантовая ошибка рассчитывается как отношение числа ошибочных бит $N_{\text{ошибочных}}$ к общему числу переданных бит $N_{\text{всего}}$:

$$QBER = \frac{N_{\text{ошибочных}}}{N_{\text{всего}}}. \quad (1)$$

Скорость безопасного ключа определяется с учетом коррекции ошибок и приватной компрессии:

$$R_{\text{secure}} = R_{\text{raw}} \times (1 - \tau_{EC} - \tau_{PA}), \quad (2)$$

где R_{secure} – скорость безопасного ключа; R_{raw} – скорость передачи необработанных бит; τ_{EC} – доля бит, потерянных при коррекции ошибок; τ_{PA} – доля бит, потерянных при приватной компрессии.

Индекс безопасности S , характеризующий эффективность защиты, рассчитывается так:

$$S = \frac{R_{\text{secure}}}{R_{\text{raw}}} \times (1 - QBER). \quad (3)$$

В разработке имитационной модели для проведения аудита информационной безопасности квантово-оптических систем использовалась специализированная визуальная среда AnyLogic. Этот инструмент позволяет создавать гибкие и масштабируемые модели, интегрирующие вероятностные распределения, дискретно-событийные процессы и агентные модели, что важно для комплексного имитационного анализа сложных гибридных систем.

Результаты

В результате проведенного теоретического анализа и имитационного моделирования аудита безопасности оплотехнических систем с использованием технологии КРК получены данные о влиянии параметров оптического канала на уровень $QBER$, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты моделирования зависимости $QBER$ от параметров оптического канала

Длина канала, км	Затухание, дБ	Средний $QBER$, %	Стандартное отклонение, %
5	1,0	1,2	0,15
10	2,0	2,5	0,22
15	3,0	4,1	0,30
20	4,0	6,8	0,45

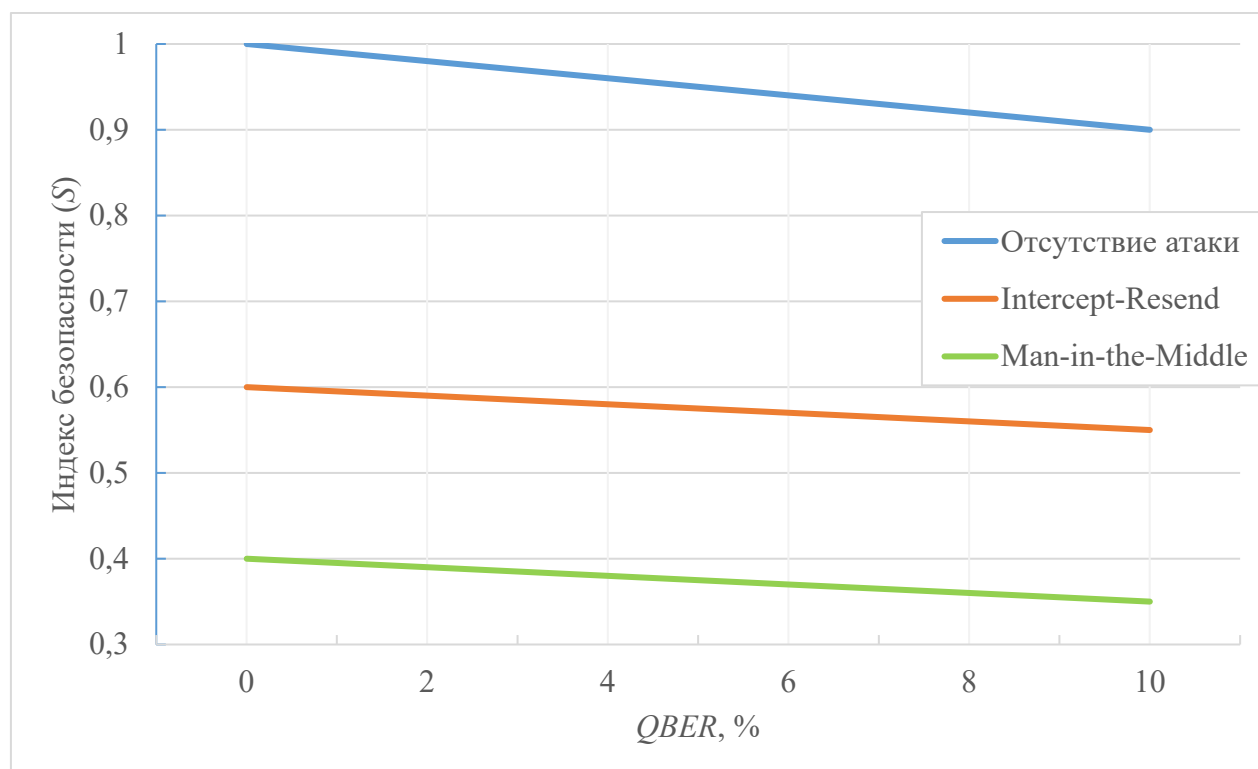
Скорость безопасного ключа при различных сценариях атак представлена в табл. 2.

Таблица 2

Влияние атак на скорость безопасного ключа

Сценарий атаки	Потери при коррекции ошибок τ_{EC} , %	Потери при приватной компрессии τ_{PA} , %	R_{secure} , бит/сек
Отсутствие атак	5	10	8500
Атака «intercept-resend»	15	25	4200
Атака «man-in-the-middle»	20	30	3200

Индекс безопасности в зависимости от $QBER$ и сценариев атак представлен на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость индекса безопасности S от $QBER$ и сценариев атаки

Индекс безопасности S снижается с ростом $QBER$ и при наличии атак, что подтверждает необходимость оптимизации параметров системы.

Блок-схема модели представлена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема аудита информационной безопасности при передаче информации по оптическому каналу с КРК

Основные компоненты блок-схемы: генерация квантовых состояний, передача по оптическому каналу, классическая обработка, имитация атак, анализ результатов.

Разработанная имитационная модель представлена на рис. 3 и 4.

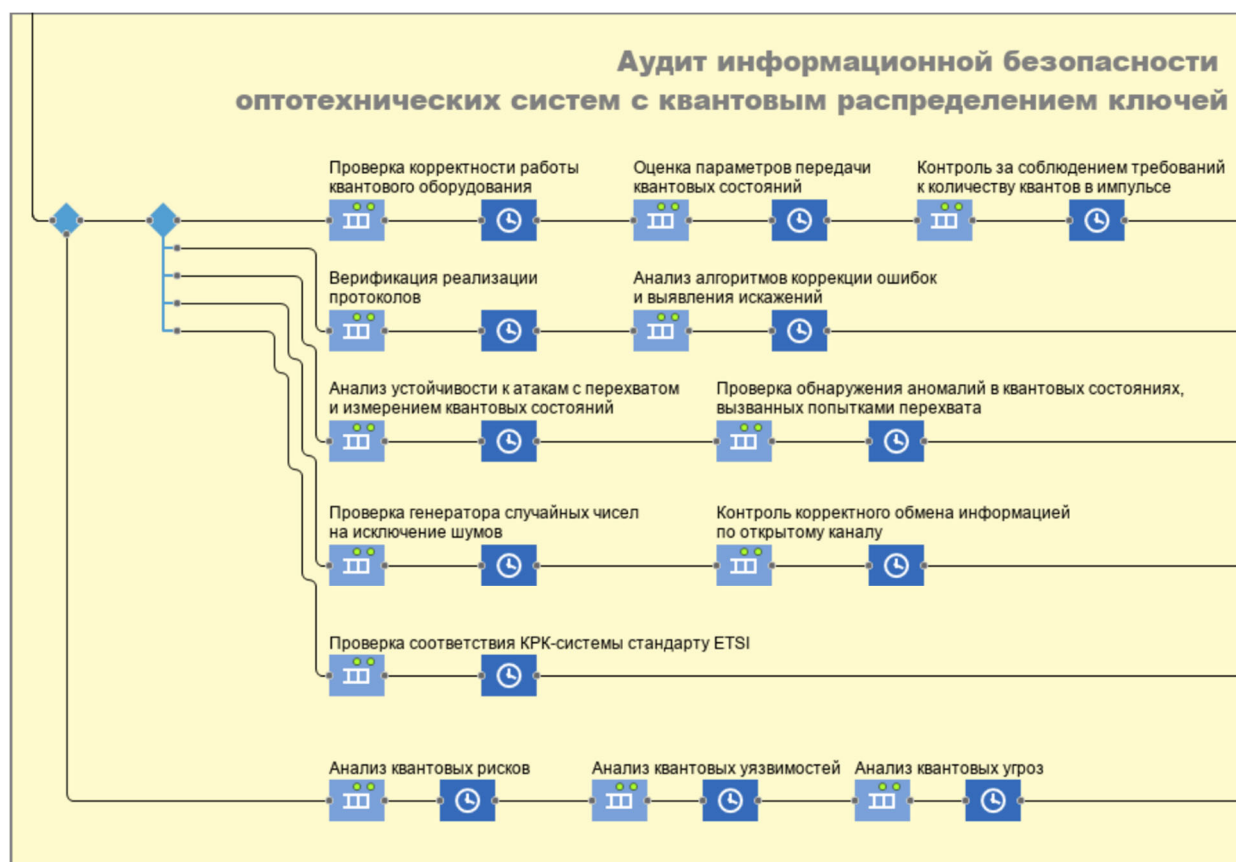


Рис. 3. Модуль имитационной модели для КРК-систем

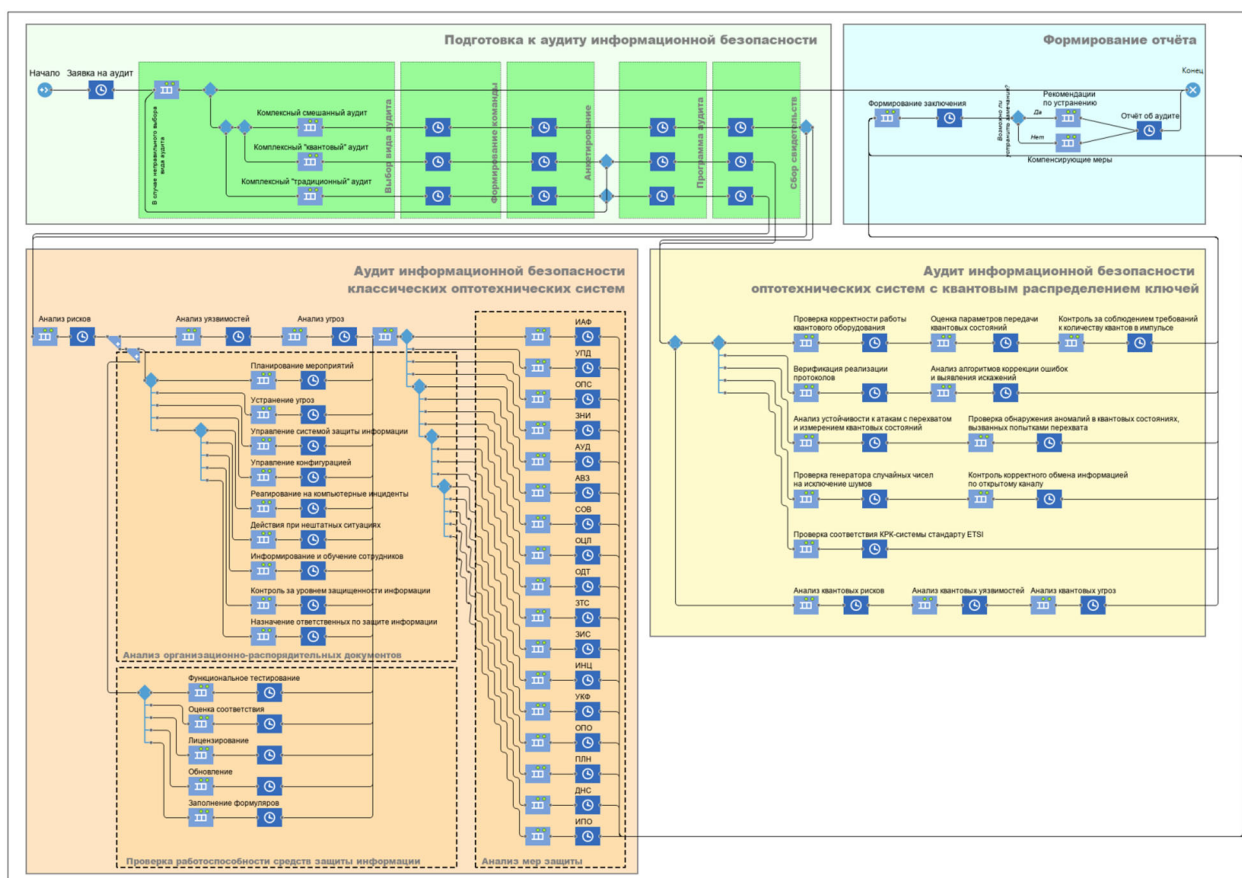


Рис. 4. Имитационная модель аудита информационной безопасности оптоэлектронических систем, созданных с использованием КРК

Результаты моделирования подтверждают высокую чувствительность КРК-систем к параметрам оптических каналов и типам атак, что требует тщательного аудита и адаптации защитных мер.

Заключение

В данной работе проведен теоретический анализ и имитационное моделирование аудита информационной безопасности оптоэлектронических систем, реализующих технологию КРК.

Основные выводы по результатам исследования следующие:

- уровень квантовой ошибки $QBER$ существенно зависит от длины и качества оптического канала, что напрямую влияет на эффективность формирования безопасного ключа;
- различные сценарии атак (например, intercept-resend и man-in-the-middle) приводят к значительному снижению скорости безопасного ключа и индекса безопасности, что подчеркивает необходимость аудита с учетом гибридной природы систем;
- имитационное моделирование, реализованное в среде AnyLogic, доказало свою эффективность как инструмент для оценки уязвимостей и оптимизации параметров защиты в квантово-оптических системах [24, 25].

Рекомендации по практическому применению результатов включают:

- внедрение регулярного аудита безопасности с использованием имитационных моделей, адаптированных под конкретные параметры оборудования и каналов связи;
- усиление контроля и совершенствование классических элементов инфраструктуры, таких как аутентификация и управление ключами, для минимизации рисков атак на классическом уровне;
- оптимизация параметров оптических каналов и протоколов с целью снижения *QBER* и повышения общей надежности системы.

Основные направления дальнейших исследований предполагают:

- исследование новых видов атак, специфичных для гибридных квантово-классических систем, и методов их обнаружения;
- расширение имитационных моделей с включением дополнительных критериев аудита информационной безопасности, анализа угроз и уязвимостей, внутренней организационно-распорядительной документации.

Таким образом, авторы надеются, что представленное исследование будет способствовать развитию методологии оценки и обеспечения безопасности современных систем квантовой коммуникации и может служить основой для дальнейшего совершенствования технологий и практик в области информационной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евсиков К.С. Информационная безопасность цифрового государства в квантовую эпоху. Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2022. – С. 46–58.
2. Серикова Ю.И., Малыгина Е.А. Уязвимости криптографических систем с различными протоколами квантового распределения ключа и ключевая роль биометрии в квантовой криптографии // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* – 2017. – С. 13–15.
3. Курс «Роль квантовой криптографии в информационных технологиях» // Квантовые технологии МГУ. – URL: <https://quantum.msu.ru/ru/education/online/the-role-of-quantum-cryptography-in-IT> (дата обращения: 25.04.2025).
4. Безопасность квантовых технологий в сфере IT / Positive Technologies, QApp, КуБорд, Российский квантовый центр. – 24.05.2024. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/bezopasnost-kvantovyh-technologiy-v-sphere-it/> (дата обращения: 25.04.2025).
5. Что такое квантовая угроза? Атака с помощью квантового компьютера – квантовая атака простыми словами // База знаний QApp. – URL: <https://qapp.tech/help/quantum-threat> (дата обращения: 25.04.2025).
6. Аверьянов В. С. О некоторых вопросах, идеях и технологических решениях в области квантового распределения ключей безопасности / В. С. Аверьянов // Информационная безопасность: Сборник докладов Всероссийской Школы молодых ученых, Новосибирск, 14–18 ноября 2022 г. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. – С. 34–39.
7. Комарова А. В. Основные угрозы безопасности и устранение их методом аудита информационной безопасности / А. В. Комарова, К. В. Толокольников // Взаимодействие науки и общества: проблемы и перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4 частях, Казань, 8 июня 2017 года. Т.4. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 63–66.

8. Сети квантового распределения ключей в кибербезопасности. – (Серия «Технологии доверенного взаимодействия») / Жилиев А. Е., Сабанов А. Г., Шелупанов А. А., Конев А. А., Брагин Д. С. – Москва: Горячая линия, 2023. – 152 с.
9. Баранкова И. И. Сложности, возникающие при проведении аудита информационной безопасности на предприятии / И. И. Баранкова, У. В. Михайлова, Т. В. Быкова // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2019. – № 1(31). – С. 53–56.
10. Егоров М. А. Методика аудита информационной безопасности в современных условиях / М. А. Егоров // Вестник науки и образования. – 2019. – № 11-2(65). – С. 34–37.
11. Ефремов А. В. Анализ существующих методик оценки средств аудита информационной безопасности / А. В. Ефремов, Г. Е. Панамарев // Вестник Военного инновационного технополиса «Эра». – 2021. – Т. 2, № 4. – С. 38–45.
12. Зелинская Е. Л. Аудит безопасности информационных систем: виды и этапы работ / Е. Л. Зелинская, А. Г. Зелинский // Морская стратегия и политика России в контексте обеспечения национальной безопасности и устойчивого развития в XXI веке: Сборник научных трудов. ч. 2. – Севастополь : Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П.С. Нахимова, 2019. – С. 165–169.
13. Палканов И. С. Внутренний аудит информационной безопасности как инструмент получения объективных оценок состояния информационной безопасности организации / И. С. Палканов, В. Е. Рачков // Студенческая наука для развития информационного общества: Сборник материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Ставрополь, 07–08 ноября 2019 года. Ч. 1. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2019. – С. 153–161.
14. Белова, Е. А. Имитационное моделирование угроз информационной безопасности / Е. А. Белова, В. О. Крылов, О. А. Мартиросова // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 11-2(67). – С. 32–36.
15. Галиуллин Н. Имитационное моделирование в обеспечении информационной безопасности предприятия / Н. Галиуллин // Collegium linguisticum – 2019: тезисы докладов Ежегодной конференции Студенческого научного общества МГЛУ, Москва, 17–19 октября 2019 года. – Москва: Московский государственный лингвистический университет, 2019. – С. 286.
16. Хубиева М. Д. Анализ методов проведения аудита информационной безопасности предприятия / М. Д. Хубиева, Ф. Б. Тебуева // Новые технологии и проблемы технических наук: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции, Красноярск, 11 ноября 2016 года. Ч. 3. – Красноярск: Инновационный центр развития образования и наук, 2016. – С. 33–37.
17. Стукалов, В. Е. Цели и задачи аудита информационной безопасности / В. Е. Стукалов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 2 (501). – С. 16–19.
18. Огнев, И. А. Имитационная модель процесса аудита информационной безопасности / И. А. Огнев, В. В. Селифанов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – № 1–3. – С. 103–107.
19. Иванов, А. В. Вопросы оценки эффективности аудита информационной безопасности / А. В. Иванов, И. А. Огнев, В. В. Селифанов // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2024. – № 4(54). – С. 37–48.
20. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – Москва: Росстандарт, 2021. – 28 с.
21. ETSI GR QKD 007 V1.1.1 (2018-12). Quantum Key Distribution (QKD); Vocabulary. European Telecommunications Standards Institute, 2018. 60 p.
22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024663736 Российская Федерация. Имитационная модель аудита информационной безопасности: № 2024662969; заявл. 11.06.2024; опубл. 11.06.2024 / А.А. Микула, А.И. Подлегаев, В.В. Селифа-

нов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий».

23. Исследование компании RAND «Безопасность коммуникаций в эпоху квантовых компьютерных технологий» / RAND Corporation. – 2021. – URL: <https://rdc.grfc.ru/2021/03/rand-quantum-comps/> (дата обращения: 25.04.2025).

24. Микула, А. А. Вопросы моделирования процедур аудита информационной безопасности / А. А. Микула, А. И. Подлегаев, В. В. Селифанов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 7, № 3. – С. 146–152.

25. Подлегаев, А. И. Вопросы моделирования системы управления аудитом / А.И. Подлегаев, А.А. Микула, В.В. Селифанов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 6. – С. 210–217.

© А. И. Подлегаев, В. В. Селифанов, 2025

Ю. В. Понамарева^{1✉}, Г. В. Симонова¹

Область аккредитации метрологических служб как элемент управления качеством продукции

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: juliya150602@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается роль аккредитации метрологических служб как важного элемента управления качеством продукции и повышения эффективности деятельности предприятия. Расширение области аккредитации метрологической службы позволяет реализовать собственный потенциал предприятия, способствует обеспечению единства и достоверности измерений, повышению конкурентоспособности. В работе обосновывается необходимость расширения области аккредитации для повышения эффективности системы менеджмента качества.

Ключевые слова: область аккредитации, качество, метрологическая служба. Система качества, потенциал предприятия

Y. V. Ponamareva^{1✉}, G. V. Simonova¹

The scope of accreditation of metrological services as an element of product quality management

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: juliya150602@mail.ru

Abstract. This article examines the role of accreditation of metrological services as an important element of product quality management and improving the efficiency of enterprise activities. Expanding the scope of accreditation of the metrological service allows the enterprise to realize its own potential, and also helps to ensure the unity and reliability of measurements, and increase competitiveness. The paper substantiates the need to expand the scope of accreditation to improve the efficiency of the quality management system.

Keywords: scope of accreditation, quality, metrological service

Введение

Непрерывное улучшение качества – это процесс, который помогает организациям анализировать и улучшать свои продукты и услуги [1]. Этот подход основан на идее, что даже самые успешные процессы и продукты могут и должны постоянно совершенствоваться. Непрерывное улучшение основано на нескольких ключевых принципах: фокусировка на клиенте, вовлечение всех сотрудников в процесс улучшения и непрерывной оптимизации процессов [2].

На практике непрерывное улучшение качества включает определение областей для улучшения, анализа текущих процессов, разработку и реализацию решений, а затем мониторинг и анализ результатов [3].

Область аккредитации – это официальное и подробное описание видов деятельности, на которые аккредитована лаборатория [4]. В области аккредитации отражаются: виды измерений, диапазоны и погрешности [5]. Средства измерений утвержденного типа подлежат обязательной поверке, чтобы соответствовать установленным требованиям и их пригодности к использованию [6].

Использование непрерывного улучшения дает возможность организации внедрить современные методы управления качеством, что позволит увеличить эффективность процессов. Что в свою очередь повлечет за собой повышение достоверности результатов измерений.

Методы и материалы

Изучив возможные инструменты для улучшения системы менеджмента качества, был выбран цикл Деминга (PDCA) (рис. 1) [7]. Цикл Деминга основан на философии бережливого мышления. Он учит учитывать ошибки, исправлять их и добиваться высшего качества продукта [8].

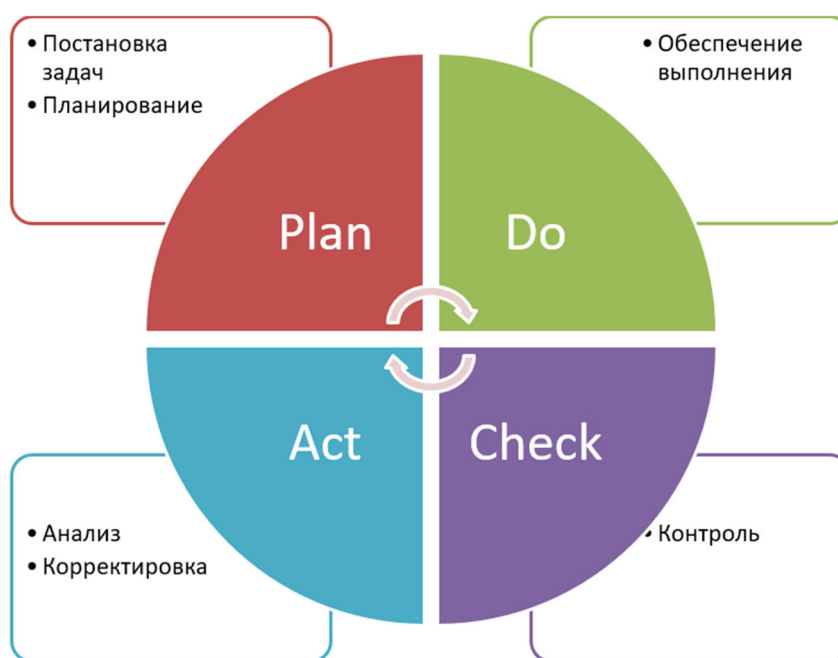


Рис. 1. Цикл Деминга

Проанализировав деятельность организации через область аккредитации было выявлено, что имеется частые запросы на поверку тонометров внутриглазного давления. Проведя SWOT-анализ было принято решение расширять область аккредитации на тонометры внутриглазного давления. Согласно PEST-анализу (Politics Economics Socio-culture Technology) при высоком спросе на услуги имеется возможность увеличить цену и повысить прибыльность.

Для расширения области аккредитации необходимо проанализировать возможных поставщиков эталона, выбрать наиболее оптимальный вариант и привести закупку эталона. Для ускорения внедрения нового вида деятельности парал-

тельно с закупочными процедурами необходимо провести обучение персонала. Затем требуется подготовить необходимую документации.

Следующим шагом является получение государственной услуги по расширению области аккредитации. После принятия Росаккредитацией решения о расширении области аккредитации следует оповестить клиентов о возможности проверки тонометров внутриглазного давления посредством рассылки по электронной почте.

Согласно расчетам, организация получит прибыль в первый же год внедрения нового вида деятельности. У клиентов появляется возможность проверки данного оборудования в г. Новосибирске, что дает возможность заказчику исключить затраты на отправку оборудования в другие города, сокращает время проведения проверки. Рост выручки организации повлечет за собой увеличения отчислений в Федеральную налоговую службу.

Результаты

В ходе проведенного исследования на основании цикла Деминга PDCA (от англ. «Plan-Do-Check-Act») для расширения области аккредитации были выбраны тонометры внутриглазного давления. При проведении оценки экономического эффекта было установлено, что в первый год внедрения нового вида деятельности в области аккредитации индекс доходности проекта составит 1,3, что дает 30 % доходности. Вся выручка от проведения проверок оборудования нового вида является валовым доходом организации. Расчетный результат внедрения представлен в табл. 1.

Таблица 1

Результат внедрения

Количество проверок в год, шт	Затраты в первый год, руб.	Валовый доход в первый год, руб.	Валовый доход в последующие годы, руб.
от 60	235500	70000	от 305000

Заключение

Область аккредитации метрологической службы является важнейшим элементом управления качеством. Аккредитация подтверждает компетентность метрологических служб и обеспечивает единство и достоверность измерений, что, в свою очередь, снижает риски, связанные с неправильными измерениями. Для повышения эффективности системы менеджмента качества необходимо постоянно расширять и совершенствовать область аккредитации метрологической службы. Это требует инвестиций в обучения персонала, приобретения нового оборудования, внедрения новых технологий и постоянное улучшение системы менеджмента качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассыхаева, М. Д. Непрерывное улучшение качества / М. Д. Рассыхаева // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VI Международного форума,

Санкт-Петербург, 01 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 365-366.

2. Рассыхаева, М. Д. Непрерывное улучшение качества / М. Д. Рассыхаева // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VI Международного форума, Санкт-Петербург, 01 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 365-366.

6. Бочкарев, А. Цель - непрерывное улучшение / А. Бочкарев // ТехНадзор. – 2016. – № 7(116). – С. 11.

3. Томорадзе, И. В. Возможности непрерывного улучшения управления организационными бизнес-процессами / И. В. Томорадзе, А. В. Быкова // Транспортное дело России. – 2021. – № 2. – С. 101-103.

4. Приказ Минэкономразвития России от 26 октября 2020 г. № 707 «Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации.

5. Приказ Министерства экономического развития РФ от 24 октября 2020 г. № 704 "Об утверждении Положения о составе сведений о результатах деятельности аккредитованных лиц, об изменениях состава их работников и о компетентности этих работников, об изменениях технической оснащенности, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации". [Электронные ресурсы] : URL: <https://fsa.gov.ru/documents/11873/>.

6. Федеральный Закон РФ "Об аккредитации в национальной системе аккредитации" N 412-ФЗ от 28 декабря 2013 года. [Электронные ресурсы] : URL: <https://fsa.gov.ru/documents/5328/>.

7. Назарова, А. Н. Цикл Деминга (PDCA) в управлении качеством / А. Н. Назарова // Концепции Э. Деминга в управлении качеством. – Белгород : Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 27-36.

8. Кузнецова, Н. В. Цикл PDCA как алгоритм "оптимального" управления компанией / Н. В. Кузнецова, М. М. Гулиев, Д. А. Мухина // Современная модель управления: проблемы и перспективы : материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Магнитогорск, 29–30 октября 2021 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 103-108.

© Ю. В. Понамарева, Г. В. Симонова, 2025

Я. В. Райхерт¹✉, Г. В. Симонова¹

Анализ источников несоответствий при метрологической экспертизе технической документации

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: raykherty@bk.ru

Аннотация. В статье проводится анализ источников несоответствий, возникающих при формировании технической документации. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения качества выпускаемой продукции и снижения экономических потерь на предприятиях. В работе проанализированы типичные ошибки, выявляемые в процессе метрологической экспертизы, такие как некорректное указание климатических условий для эксплуатации средств измерений, неправильный выбор средств измерений и некорректное указание номеров в Государственном реестре применяемых средств измерений. Акцентируется внимание на последствиях, к которым могут привести данные ошибки, предлагаются пути устранения указанных несоответствий, а также обосновывается необходимость проведения метрологической экспертизы на этапе разработки технической документации для повышения качества продукции и оптимизации производственных процессов. Для облегчения процесса метрологической экспертизы предложено разработать инструкцию по проведению метрологической экспертизы, которая позволит минимизировать ошибки при работе.

Ключевые слова: метрологическая экспертиза, техническая документация, средства измерений, погрешность измерений, Госреестр СИ

Ya. V. Raykhert¹✉, G. V. Simonova¹

Analysis of sources of inconsistencies in the metrological examination of technical documentation

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: raykherty@bk.ru

Abstract. This article examines the analysis of sources of inconsistencies that arise during the formation of technical documentation. The relevance of the study is due to the need to ensure the quality of manufactured products and reduce economic losses at enterprises. The work analyzes typical errors identified in the process of metrological examination, such as incorrect indication of climatic conditions for the operation of measuring instruments, incorrect selection of measuring instruments and incorrect indication of numbers in the State Register of applied measuring instruments. Attention is focused on the consequences that these errors can lead to, and also substantiates the need for metrological examination at the stage of developing technical documentation to improve product quality and optimize production processes. To facilitate the process of metrological examination, it offered to develop instructions for conducting a metrological examination, which will minimize errors during operation.

Keywords: metrological expertise, technical documentation, measuring instruments, measurement error, State Register of Measuring Instruments

Введение

Основанием для проведения метрологической экспертизы на предприятиях являются требования федерального закона № 102 – ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [1]. Закон требует осуществление метрологического надзора за соблюдением обязательных требований к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам и средствам измерений (СИ).

Основной причиной проведения метрологической экспертизы является обеспечение высокого качества и конкурентоспособности готового изделия, а также устранение метрологических ошибок на стадии разработки документации. Поэтому разработка технической документации с учетом соблюдения метрологических норм является неотъемлемой частью процесса проектирования новых видов изделий. Надежность и качество готовой продукции зависят от качества проектной документации. Ошибки, совершенные при проектировании технологической документации, ведут к несоответствию создаваемой продукции установленным функциональным и параметрическим требованиям, что приводит к материальным потерям предприятия.

Для повышения качества проектирования технической документации необходимо проводить метрологическую экспертизу, которую можно рассматривать как верификацию по отношению к процессу проектирования.

Метрологическая экспертиза является частью комплекса работ по метрологическому обеспечению производства, она успешно решает свои задачи при условии ее проведения на стадиях разработки документации, что позволяет заранее исключить возможные несоответствия, допущенные при разработке документов. Такой подход дает максимальный экономический эффект от экспертизы и возможность исключить значительные издержки, вызванные метрологическим несоответствием продукции, на стадии разработки документации [2].

Для проведения работ по метрологической экспертизе следует учитывать требования ряда национальных стандартов, рекомендаций, методик и т.д.

Основные нормативные акты, устанавливающие необходимые требования для проведения метрологической экспертизы, представлены в табл. 1 [2].

Примерами возможных несоответствий, выявленных при анализе технической документации разного назначения, могут быть:

- некорректно указанные климатические условия для эксплуатации средств измерений;
- неправильный выбор средств измерений;
- некорректно указанные номера в госреестре применяемых средств измерений.

Кроме этого могут быть некорректно указаны как единицы, применяемые для количественной оценки параметров, так и границы допуска для этих величин.

Документы, содержащие требования к метрологической экспертизе

Наименование документа	Что устанавливает
ГОСТ Р 8.563 – 2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений [3]	Стандарт распространяется на методики и методы измерений, и устанавливает общие положения и требования, относящиеся к разработке, стандартизации, применению методик измерений к метрологическому надзору за ними
РМГ 29 – 2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения [4]	Рекомендации устанавливают основные термины и определения понятий в области метрологии
МУ 64 – 02 – 002 – 2002 Организация и порядок проведения метрологической экспертизы нормативной документации [5]	Методические указания устанавливают определение, цели, задачи, организацию работ, основные виды нормативной документации, представляемой на метрологическую экспертизу, оформление и реализацию результатов метрологической экспертизы
РДТ 04 – 2009 Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации [6]	Типовой руководящий документ устанавливает содержание и порядок организации работ по проведению метрологической экспертизы проектов нормативной и технической документации, содержащей метрологические требования, нормы и правила

Методы и материалы

В процессе выполнения работы были выявлены некоторые наиболее часто встречающиеся несоответствия. Одной из часто встречающихся ошибок при разработке документов являются некорректно указанные климатические условия для эксплуатации СИ

Нормальные климатические условия — это стандартизированные значения параметров окружающей среды, при которых должны выполняться измерения. Они определены ГОСТ 15150 - 69 [7] и включают температуру, влажность, атмосферное давление и другие показатели.

Например, для проведения измерений в нормальными считаются следующие условия:

- температура: 20 ± 5 °С;
- относительная влажность: 50 ± 20 %;
- атмосферное давление: 1013 ± 10 гПа.

Соблюдение указанных значений позволяет исключить возможное влияние внешних факторов на точность измерений и обеспечить их надежность [8]. Несоблюдение нормируемых климатических условий при эксплуатации СИ приводит к увеличению погрешности измерений.

Неправильный выбор СИ приводит к возможности использования оборудования, которое не позволит обеспечить достаточную точность при разработке маршрутной карты технологического процесса, например, при производстве детали, может привести к целому ряду негативных последствий, как в краткосроч-

ной, так и в долгосрочной перспективе. Эти последствия можно разделить на несколько категорий по степени риска как для производителя, так и для потребителя.

Элементы конструкции, изготовленные с использованием СИ недостаточной точности, могут не соответствовать установленным допускам и требованиям к размерам, форме, шероховатости поверхности и другим параметрам. Изготовление комплектующих с возможными отклонениями от установленных требований приводят к их непригодности для сборки конечного продукта.

Указанные несоответствия увеличивают процента брака и часто эти отклонения выявляются уже в готовом изделии. Выпуск некондиционной продукции приводит к необходимости ее переработки или утилизации, что влечет за собой дополнительные расходы на материалы, энергию и трудозатраты. Необходимость ремонта комплектующих или их замены увеличивает общее время производственного цикла, снижают производительность и приводит к задержкам в поставках потребителю.

Такая ситуация вызывает недовольство у заказчиков, ухудшает репутацию и снижает конкурентоспособность.

С другой стороны, повышение количества брака приводит к увеличению нагрузки на выполнения гарантийных обязательств, что также повлечет за собой дополнительные финансовые издержки.

Использование СИ с недостаточной точностью в технологическом процессе может привести к неправильным оценкам параметров его протекания, что в свою очередь может стать причиной нештатных ситуаций или несчастных случаев на производстве. В некоторых случаях ошибки измерения могут снизить безопасность конечного продукта, например, в случае, когда речь идет о ответственных деталях для авиационной или автомобильной промышленности.

Другие формы нарушения метрологических требований приводят к недостоверной информации об изделии, например, некорректно указанные номера в госреестре применяемых СИ.

Государственный реестр средств измерений (далее - Госреестр) предназначен для регистрации СИ, типы которых утверждены Госстандартом России и состоит из следующих разделов:

- СИ, типы которых утверждены Госстандартом России;
- сертификаты об утверждении типа средств измерений;
- СИ военного назначения, типы которых утверждены Госстандартом России;
- единичные экземпляры СИ, типы которых утверждены Госстандартом России;
- государственные центры испытаний средств измерений, аккредитованные Госстандартом России [9].

В технологических процессах и в маршрутных картах, в частности, указываются номера в Госреестре используемых средств измерений (СИ). При недостаточно качественном обучении нового сотрудника в сфере метрологической экспертизы могут быть допущены ошибки и указаны неподходящие номера в

Госреестре. Это может в дальнейшем привести, как минимум, к разногласиям с заказчиками.

При предоставлении информации об объекте указывается:

- наименование СИ;
- регистрационный номер, состоящий из порядкового номера государственной регистрации и двух последних цифр года утверждения типа;
- назначение СИ;
- страна-производитель;
- изготовитель и его реквизиты;
- наименование государственного центра испытаний;
- срок действия сертификата;
- межповерочный интервал;
- методика поверки [10].

Исходя из вышеуказанного, номер в Госреестре может предоставить полную информацию о СИ, а также о методике поверки и межповерочном интервале. Отсутствия номера Госреестра СИ в маршрутной карте технологического процесса приводит к:

- нелегитимности результатов измерений и контроля;
- непризнанию результатов поверки/калибровки, так как номер СИ в Госреестре является уникальным идентификатором, подтверждающим, что данное СИ внесено в государственный реестр и допущено к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Отсутствие этого номера делает результаты измерений, выполненных данным СИ, юридически недействительными, что может повлечь за собой проблемы с контролирующими органами.

Применение СИ, не включенных в Госреестр или не имеющих номера Госреестра в маршрутной карте, может быть расценено как нарушение законодательства в области метрологии, что может привести к административным взысканиям и штрафам.

Если предприятие стремится к сертификации своей продукции или аккредитации лаборатории, то отсутствие номеров Госреестра на используемых СИ может стать причиной отказа в сертификации или аккредитации.

Применение СИ, не имеющих номера госреестра, может привести к использованию неисправных или неточных приборов, что, в свою очередь, приведет к выпуску брака или продукции, не соответствующей требованиям к качеству, и как следствие, могут возникнуть проблемы с воспроизводимостью результатов измерений, что затруднит управление качеством и приведет к нестабильности производственных процессов.

Сложности с сертификацией и подтверждением соответствия могут негативно отразиться на продвижении продукции на рынке.

Результаты

Данные примеры наглядно иллюстрируют, как важен контроль выбор средств измерений, использующихся в том или ином техническом процессе, так

как ошибочные результаты измерений могут привести к сбою в процессе производства.

Так или иначе, некачественная метрологическая экспертиза или ее полное отсутствие может привести к браку на производстве. На разных этапах жизненного цикла продукции устранение ошибок требует разного количества усилий и затрат. Если ошибка будет обнаружена только на этапе непосредственного производства продукции (например, детали), то это неизбежно приведет к браку уже произведенной на этом этапе продукции. На этапе же разработки технической документации исправление ошибки не приведет к таким последствиям.

Для облегчения процесса метрологической экспертизы была разработана и отдана на рассмотрение на предприятие инструкция по проведению метрологической экспертизы. Эта инструкция позволит менее опытным сотрудникам проводить метрологическую экспертизу с большей уверенностью и точностью, значительно сокращая время на освоение процесса и минимизируя вероятность ошибок. Таким образом сократится количество возможного брака при производстве.

Заключение

Проведенный анализ источников несоответствий при формировании технической документации выявил ключевые факторы, негативно влияющие на качество выпускаемой продукции и приводящие к экономическим потерям. К таким факторам относятся некорректное указание климатических условий эксплуатации СИ, неправильный выбор СИ и ошибки в указании номеров в Госреестре применяемых средств измерений.

Последствия данных несоответствий варьируются от увеличения погрешности измерений и выпуска некондиционной продукции до потери репутации предприятия и увеличения производственных затрат.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о необходимости проведения тщательной метрологической экспертизы технической документации на этапе ее разработки. Своевременное выявление и устранение потенциальных несоответствий позволяет предотвратить значительные издержки, связанные с браком, переработкой продукции и возможными штрафами.

Одним из инструментов повышения эффективности метрологической экспертизы может являться разработка инструкции по проведению метрологической экспертизы. Данная инструкция разработана и отдана на рассмотрение на предприятии с целью актуализации данного документа в документообороте предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон № 102-ФЗ – [принят Государственной Думой 11 июня. 2008 г.: одобрен Советом Федерации 18 июня. 2008 г.]. – 2008 – 22 с.
2. Овадыкова Ж. В., Овадыков Х. М. Необходимость проведения метрологической экспертизы нормативной документации на предприятиях – Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) №7(76) – 2020 г. – 62-66 с.

3. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений – Москва, Стандинформ – 2019 – 20 с.
4. РМГ 29–2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения – Москва, Стандинформ – 2014 – 60 с.
5. МУ 64–02–002–2002. Организация и порядок проведения метрологической экспертизы нормативной документации – Москва – 2002 – 18 с
6. РДТ 04 – 2009 Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации – ГУ "НПО "Тайфун". – 2003 – 25 с.
7. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды – Москва, Стандинформ – 2010 – 104 с.
8. Нормальные климатические условия измерений [Электронный ресурс] – URL: <https://rosgosts.ru/blog/gost-na-normalnye-klimaticheskie-usloviya-izmerenij/> (дата обращения: 10.03.2025).
9. ПР 50.2.011-94. Правила по метрологии. Порядок ведения государственного реестра средств измерений – Москва, Госстандарт России – 1994. – 7 с.
10. Государственный реестр средств измерений [Электронный ресурс] – URL: <https://www.rostest.ru/GosreestrSI.php> (дата обращения: 10.03.2025).

© Я. В. Райхерт, Г. В. Симонова, 2025

К. С. Редколес^{1✉}, И. О. Михайлов¹

Концепция автоматизации складирования линз и устройство измерения их фокусных расстояний

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: redkoles20@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена автоматизации процесса складирования линз и созданию устройства для измерения их фокусных расстояний с целью повышения эффективности селективной сборки объективов биноклярных приборов. В центре внимания находится разработка информационно-измерительного комплекса, который обеспечивает высокую точность измерений (погрешность не превышает 0,05 %) и автоматизацию всех связанных с этим процессов. Статья посвящена принципу работы устройства, основанного на бесконтактном дифференциальном методе измерения с применением эталонной линзы для калибровки измерительного модуля. Для оптимизации процесса складирования и подбора пар линз с требуемыми параметрами, предназначенных для сборки сложных объективов, предлагается схемное решение опико-электронного измерительного модуля, разработана базовая конструкция автоматизированной измерительной системы. Автоматизация производственных процессов на всех этапах позволяет добиться существенного повышения точности, сократить производственные издержки и минимизировать количество бракованной продукции.

Ключевые слова: измерительное устройство, биноклярный прибор, селективный подбор, фокусное расстояние, объектив, массовое производство

K. S. Redkoles^{1✉}, I. O. Mikhailov¹

Concept of automation of lens storage and device for measuring their focal lengths

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: redkoles20@mail.ru

Abstract. The article is devoted to automation of the lens stacking process and creation of a device for measuring their focal lengths and increasing the efficiency of selective assembly of binocular device objectives. The focus is on the development of an information and measuring complex that ensures high measurement accuracy (the error does not exceed 0.05%) and automation of all related processes. The article is devoted to the operating principle of the device based on a contactless differential measurement method using a reference lens to calibrate the measuring module. To optimize the process of stacking and selecting pairs of lenses with the required parameters intended for assembling complex objectives, a circuit solution for an optical-electronic measuring module is proposed, and the basic design of an automated measuring system is developed. Automation of production processes at all stages allows for a significant increase in accuracy, a reduction in production costs and a minimization of the number of defective products.

Keywords: measuring device, binocular device, selective selection, focal length, lens, mass production

Введение

В современных бинокулярных приборах точное измерение фокусных расстояний линз является ключевым фактором при сборке объективов. Однако традиционные методики измерения часто не обеспечивают требуемой скорости и точности, что негативно сказывается на эффективности процесса и повышает риск возникновения ошибок.

В условиях массового производства автоматизация этих процессов приобретает первостепенную важность. Необходимо разработать систему, обеспечивающую не только точное измерение фокусных расстояний, но и эффективную организацию хранения, учета и сортировки линз.

Задача данной работы заключается в разработке концепции автоматизированного складирования линз и создании устройства для измерения их фокусных расстояний. Такая реализация позволит оптимизировать производственные процессы, повысить эффективность работы, сократить количество бракованной продукции и улучшить качество выпускаемых оптических приборов благодаря внедрению инновационных технологий.

Принцип измерения фокусных расстояний линз

Основой предлагаемого измерительного комплекса является разработанный авторами оптико-электронный измерительный модуль, отличающийся простотой принципа действия, который поясняется на рис. 1. Дифференциальный метод измерений фокусных расстояний f' линз, положенный в основу работы модуля, предполагает его калибровку по эталонной линзе с заранее известным с необходимой степенью точностью фокусным расстоянием f'_0 и вычисления погрешности фокусного расстояния контролируемой линзы $\Delta f'$. Осветитель измерительного модуля формирует два параллельных пучка лучей на расстоянии a один от другого, падающих на эталонную линзу, за которой на некотором расстоянии в плоскости измерений располагается *приемник сигнала*, содержащий ПЗС-линейку [2]. Линейка позволяет измерить расстояние l_0 между энергетическими центрами световых пятен за эталонной линзой. Это расстояние фиксируется в электронном блоке обработки информации и учитывается для вычисления b_0 :

$$b_0 = \frac{f'_0(a - l_0)}{a}. \quad (1)$$

Далее осветитель и приемник сигнала синхронно перемещаются к первой контролируемой линзе в кассете и выполняется измерение интервала l . Фокусное расстояние вычисляется по формуле:

$$f' = \frac{ab_0}{a - l}. \quad (2)$$

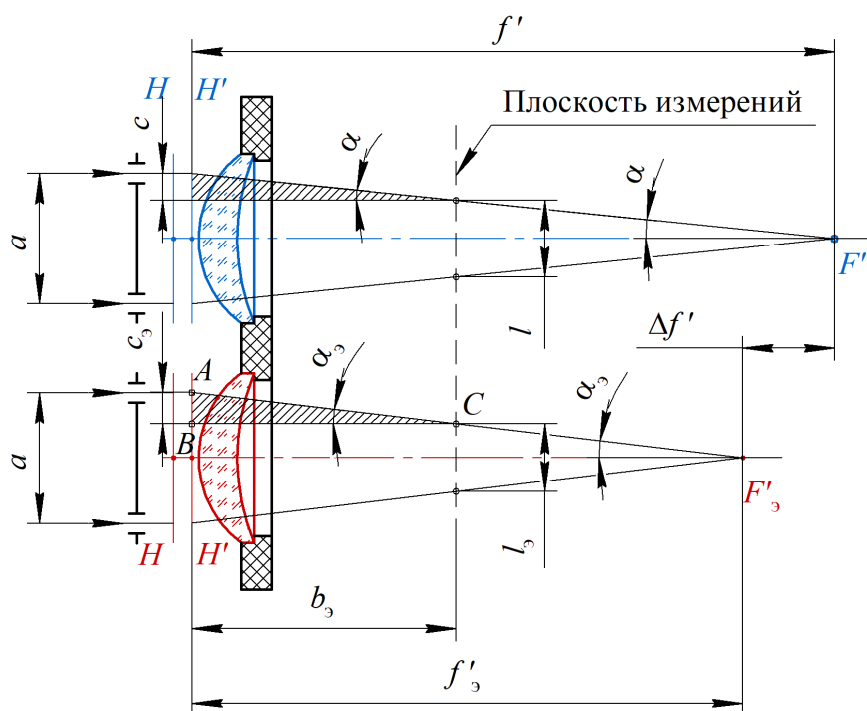


Рис. 1. Дифференциальный принцип измерения фокусных расстояний линз

Погрешность фокусного расстояния вычисляется по формуле

$$\Delta f' = 100 \frac{|f'_3 - f'|}{f'}, \quad (\%). \quad (3)$$

Концепция измерительного устройства

Предлагается современная система складирования линз в условиях массового производства [3], предполагающая автоматизированное размещение кассет с линзами на специализированных стеллажах. Каждая кассета содержит индивидуальный QR-код с основной информацией об изделии, детали (линзе) и характеристиках кассеты (количестве линз по двум направлениям $a \times b$). Последняя характеристика позволяет вычислить расстояние между центрами линз, необходимое для перемещения измерительного модуля при помощи шагового двигателя.

Базовая конструкция основного модуля комплекса складирования приведена на рис. 2. После попадания кассеты 1 с линзами в основной модуль, кассета с эталонной линзой, QR-кодом и набором линз передвигается по направляющим 2 (координате x в поле измерения). Движение по координате x осуществляется при помощи толкателя 4, который перемещается по направляющим 3 с использованием ременной передачи и шагового электродвигателя. Каретка с измерительным модулем (на рисунке не показаны), расположенная на цилиндрических направляющих 6, попадая в поле измерений, приостанавливается для считывания QR-кода и измерения эталонной линзы, находящихся по координате y . Движение измерительного модуля, а именно осветителя и приемника сигнала, по ко-

ординате y , осуществляется также за счет применения цилиндрических направляющих, системы ременных передач и шагового электродвигателя. После измерения эталонной линзы кассета передвигается на следующую координату x для измерения ряда линз. После измерения всей партии линз кассета передвигается в зону складирования. Элементы конструкции монтируются на основании 5. Можно отметить, что конструкция системы построена на стандартных профилях.

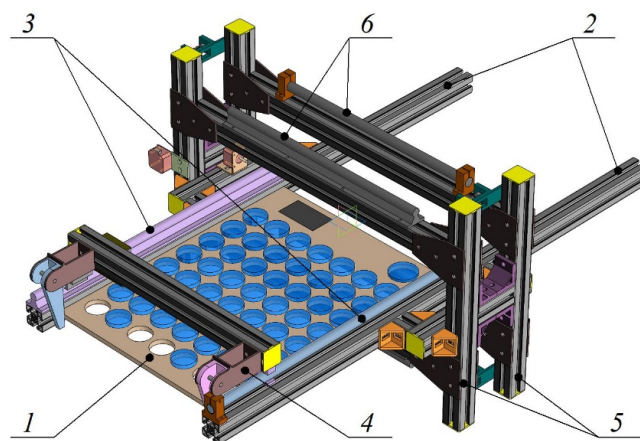


Рис. 2. Конструкция информационно-измерительного устройства

Вычисленное фокусное расстояние каждой линзы и его погрешность фиксируется в базе данных с привязкой к кассете и номеру гнезда кассеты, что позволяет автоматизировать компьютерный поиск необходимого фокусного расстояния для комплектования пар линз при селективной сборке объективов биноклярных приборов.

Концепция автоматизации складирования линз

Посредством автоматизированного перемещения кассета с линзами поступает в зону измерения. Вертикальное положение линз строго фиксируется в кассете, так чтобы задняя главная плоскость эталонной линзы и всех контролируемых линз в кассете находилась в одной плоскости в пределах допускаемой погрешности. Положение линз в кассете показан она рис. 3.

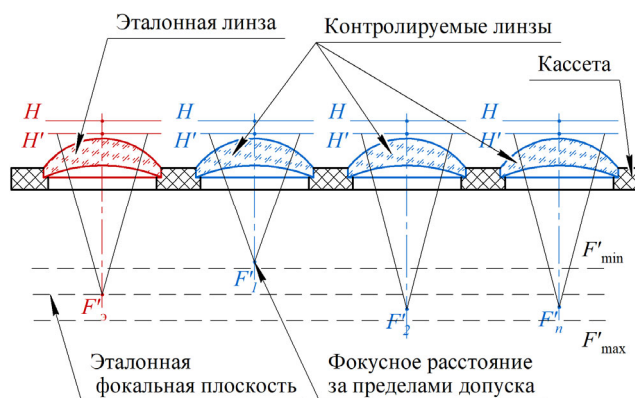


Рис. 3. Положение линз в кассете

При размещении линз в кассете необходимо позиционировать их одинаково по отношению к поверхности (одинаковыми поверхностями в одну сторону), что усложняет и замедляет загрузку линз в кассету. Для исключения названного усложнения заполнения кассеты можно предложить использование двух эталонных линз на кассете в разных положениях (рис. 4).

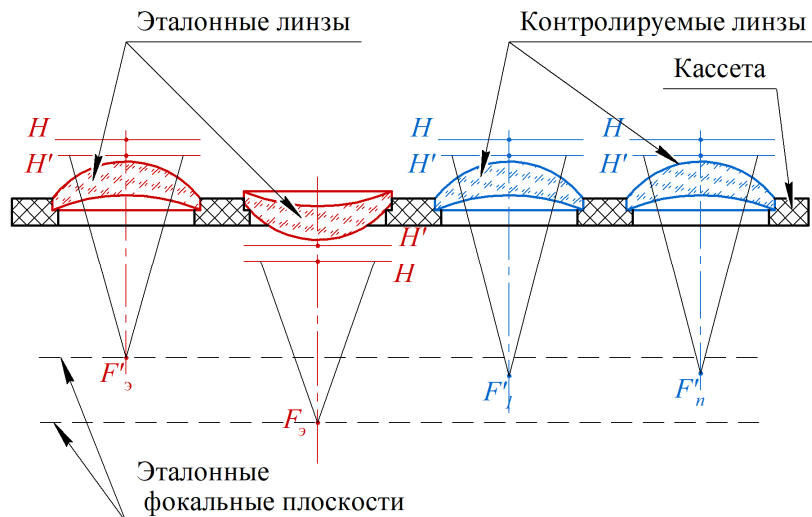


Рис. 4. Вариант размещения двух эталонных линз в кассете

При этом будут сравниваться заднее фокусное расстояние или переднее фокусное расстояние. В этом случае в алгоритме обработки сигнала предусматривается наличие двух положений фокальных областей эталонной линзы, и соответственно предусмотрен выбор одного из двух положений в процессе измерений. Предлагаемый принцип требует дополнительных исследований, не предусмотренных в данной работе [1].

Заключение

Измерительный модуль, состоящий из источника и приемника излучения, по рабочей формуле устройства определяет и рассчитывает полученные значения координат линз и их фокусного расстояния (2) и погрешности фокусного расстояния (3). Результаты автоматически записываются в базу данных, адрес которых доступен через QR-код, с привязкой к позиции линзы в кассете. После измерения кассета перемещается в зону складирования, представляющую собой отдельные ячейки в контейнере, и освобождает рабочую зону для следующей кассеты. Контейнеры имеют QR-код для считывания. Механизм перемещения представляет собой роботизированную систему-конвейер, использует направляющие с минимальным зазором для предотвращения повреждений кассеты. База данных содержит в себе информацию о каждом контейнере, каждой кассете, находящейся в контейнере и каждой линзе в кассете. По запросу можно отсортировать подходящие пары линз для объективов биноклярного прибора.

Разработанная концепция автоматизированного складирования линз и устройства для определения их фокусных расстояний обладает большим потенциалом для оптимизации производства оптических приборов. Использование информационно-измерительного комплекса, построенного на бесконтактном дифференциальном методе, обеспечивает высокую точность измерений с погрешностью, не превышающей 0,05 %, что является ключевым фактором для успешного массового производства. Автоматизация всех процессов, от транспортировки кассет с линзами до их измерения и сортировки, не только увеличивает точность, но и оптимизирует производственные затраты, сокращая количество брака. Внедрение такой автоматизированной системы в производственный цикл повысит качество выпускаемой оптики и обеспечит более эффективную работу предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент 1048346 СССР, G01M 11/00. Фокометр; № 4810194; заявл. 22.06.1989; опубл. 12.02.1992/ Пизюта Б.А., Сырова Г.А.; заявитель и патентообладатель Новосибирск. институт инженеров геодезии, аэрофотосъёмки и картографии. – 4 с.
2. Редколес К. С., Михайлов И. О. Разработка модуля позиционирования линз для устройства селективной сборки бинокулярных приборов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XIX Международный научный конгресс, Новосибирск, 17–19 мая 2023 г. : сборник материалов в 8 т. - Новосибирск : СГУГиТ, 2023. - Т. 7: МОЛОДЕЖЬ. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ : Международная научно-технологическая конференция студентов и молодых ученых, № 1. – С. 105-111.
3. Редколес К. С., Михайлов И. О. Разработка принципа складирования линз и работы информационно-измерительного комплекса для селективной сборки бинокулярных оптических приборов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : XX Международная выставка и научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. - Новосибирск : СГУГиТ, 2024. - Т. 6: Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – С. 229-233.

© К. С. Редколес, И. О. Михайлов, 2025

В. С. Скориков¹✉, В. В. Селифанов¹

Разработка оценки эффективности для моделей систем оценки рисков оптических и оптико-электронных систем

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: isaac.newton01@mail.ru

Аннотация. Активная разработка моделей систем для оценки рисков в оптических и оптико-электронных системах позволяет организациям контролировать и демонстрировать работу подобных систем, оценивать потенциальные затраты ее внедрения и поддержки, а также анализировать, насколько удачным решением является внедрение этой системы для оценки рисков в организацию. Однако для полного доверия к модели и объективного оценивания ее работы необходимо проводить оценку эффективности. Разработанная оценка эффективности позволяет качественно и без лишних затрат производить вычисления для дальнейшего объективного сравнения и выбора оптимальной модели системы оценки рисков. Расчеты проводились на модели типа «система массового обслуживания», построенной в прикладном программном обеспечении AnyLogic. В качестве метода исследования было использовано имитационное моделирование.

Ключевые слова: оценка эффективности, имитационное моделирование, оценка рисков, управление рисками

V. S. Skorikov¹✉, V. V. Selifanov¹

Development of an effectiveness evaluation for risk assessment models of optical and optoelectronic systems

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: isaac.newton01@mail.ru

Abstract. The active development of system models for risk assessment in optical and optoelectronic systems enables organizations to monitor and demonstrate the operation of such systems, evaluate the potential costs of their implementation and maintenance, and analyze how successful the adoption of these risk assessment systems will be within the organization. However, to fully trust the model and objectively evaluate its performance, it is necessary to conduct an effectiveness evaluation. The developed effectiveness evaluation allows for high-quality calculations without excessive costs, facilitating objective comparison and selection of the optimal risk assessment system model. Calculations were performed on a queueing system model built using the applied software AnyLogic. Simulation modeling was used as the research method.

Keywords: effectiveness evaluation, simulation modeling, risk assessment, risk management

Введение

Обеспечение безопасности оптических и оптико-электронных систем является ключевым условием их надежного функционирования и устойчивого развития. На сегодняшний день существуют модели оценки рисков, оценки угроз, ре-

агирования на инциденты, а также модель аудита информационной безопасности в этих системах. К сожалению, невозможно полностью доверять результатам таких моделей без соответствующей оценки эффективности [1, 2].

Оценка эффективности позволяет детально изучить работу модели и сравнить ее с другими, измененными моделями той же категории. Например, модификация стандартной модели оценки рисков позволяет внедрить ее для систем с КРК. Добавление этапов оценки рисков, характерных для этой технологии, может продемонстрировать небольшое снижение результатов оценки эффективности. В таком случае, если результаты оценки будут удовлетворительными, модифицированная модель будет считаться оптимальной для внедрения в системы с технологией КРК [3, 4, 5].

В случаях, если модифицированная система покажет результаты оценки ниже требуемых, то это позволит организации избежать нежелательных трат ресурсов на внедрение новой системы [6, 7].

Обоснование применения имитационного моделирования

При разработке оценки эффективности было принято решение использовать имитационное моделирование. Это решение обосновано несколькими факторами: использование языка программирования Java, установка соответствующих системе характеристик для работы модели, возможность модифицирования модели. Использование языка программирования Java позволило встроить оценку эффективности напрямую в модель. В совокупности с возможностями регулирования характеристик и модифицирования модели, использование языка программирования Java позволило внедрить оценку эффективности в модель. Это означает, что для измерения оценки эффективности новой системы достаточно изменить свойства необходимых блоков, а не внедрять всю оценку эффективности в новую модель [8, 9].

Разработка оценки эффективности

Оценка эффективности моделей систем для оценки рисков играет ключевую роль в обеспечении надежной защиты данных в организации. Этот процесс необходим на всех этапах жизненного цикла системы, требуя тщательного анализа и определения подходящих критериев оценки, особенно в условиях быстро меняющейся технологической среды и новых угроз. При выборе показателя эффективности важно учитывать, что оценка систем управления рисками (СУР) определяется через показатель эффективности управления. Этот показатель отражает, насколько система соответствует своему назначению и определяется как вероятность своевременного принятия и реализации правильного решения, обеспечивающего оптимальное использование технических ресурсов. Для расчета этого показателя используется следующая мультипликативная формула [10, 11, 12]:

$$W_{\varepsilon} = P_{св.сб} \times P_{np} \times P_{св.нр} \times P_{св.р}, \quad (1)$$

где $P_{св.сб}$ – вероятность того, что вся требуемая для принятия решений информация будет собрана вовремя; P_{np} – вероятность корректного выбора решения; $P_{св.нр}$ – вероятность одновременного своевременного и правильного принятия решений; $P_{св.р}$ – вероятность своевременного выполнения уже принятых решений.

Формула (1) позволяет количественно оценить эффективность управления и принимать обоснованные решения по обеспечению информационной безопасности. Порядок оценки показателя эффективности принятия решений включает следующие этапы [13, 14, 15, 16]:

- ввод исходных данных;
- измерение продолжительности, затраченной конкретным лицом на принятие решения в заданной ситуации;
- оценка времени, которое понадобилось на реализацию принятого решения;
- оценка времени, затраченного на сбор всей необходимой информации для принятия решения;
- подсчет количества решений, которые были приняты и реализованы вовремя;
- подсчет случаев, когда требуемая информация была собрана своевременно;
- подсчет количества решений, принятых правильно;
- вычисление вероятности, что принятые решения оказались верными, P_{np} по формуле:

$$P_{np} = \frac{1}{M} \sum \frac{S_{np}}{L}, \quad (2)$$

где M – общее число анализируемых ситуаций; L – количество участников, принимающих решения, задействованных в конкретной ситуации; S_{np} – число решений, принятых корректно в рамках данной ситуации.

- вычисление вероятности того, что вся требуемая для принятия решений информация будет собрана вовремя $P_{св.сб}$;
- расчет вероятности одновременного своевременного и правильного принятия решений $P_{св.нр}$ по формуле:

$$P_{св.нр} = \frac{1}{M} \sum \frac{R}{S_{np}}, \quad (3)$$

где R – количество решений, которые были приняты вовремя и с правильным содержанием для конкретной ситуации;

– определение вероятности своевременного выполнения уже принятых решений $P_{св.р}$ по формуле:

$$P_{св.р} = \frac{1}{Q \times M} \sum \frac{C}{R}, \quad (4)$$

где C – количество решений, которые были реализованы своевременно и приняты корректно в каждой конкретной ситуации; Q – количество каналов связи, соответствующее числу исполнителей.

На основании собранной информации рассчитываются статистические параметры исследуемых показателей, включая текущие, минимальные, максимальные и средние значения. Кроме того, для наглядного представления результатов создаются графики и гистограммы. Это позволяет лучше понять функционирование системы и выявить особенности её работы. Основная цель оценки эффективности СУР заключается в своевременной перестройке систем защиты информации. При работе с Anylogic выполняются эксперименты, в ходе которых параметры модели изменяются в заданных пределах. Это позволяет не только проанализировать, как отдельные параметры влияют на поведение системы, но и выявить оптимальные значения для повышения эффективности СУР. Такой подход автоматизирует многократные запуски модели с разными параметрами и помогает визуализировать результаты с помощью графиков, что облегчает поиск наилучших настроек модели для эффективного управления рисками [17, 18, 19, 20,21].

В качестве примера для оценки эффективности была использована модель системы оценки рисков для оптических и оптико-электронных систем (рис. 1). В рамках простого эксперимента установлено, что заявки на обслуживание поступают в систему моделирования группами по 35 штук с интервалом в 30 минут. Время обслуживания рассчитывается согласно экспоненциальному распределению и зависит от параметров, связанных с алгоритмом управления. В процессе эксперимента параметры изменялись, что позволило оценить, как эффективность управления зависит от количества заявок, поступающих одновременно на обслуживание (рис. 2). Итогами моделирования являются следующие результаты:

- статистические параметры исследуемых показателей, включая текущие, минимальные, максимальные и средние значения;
- графические представления, показывающие текущие и средние значения анализируемых показателей;
- гистограммы и функции распределения, иллюстрирующие распределение значений оцениваемых параметров.

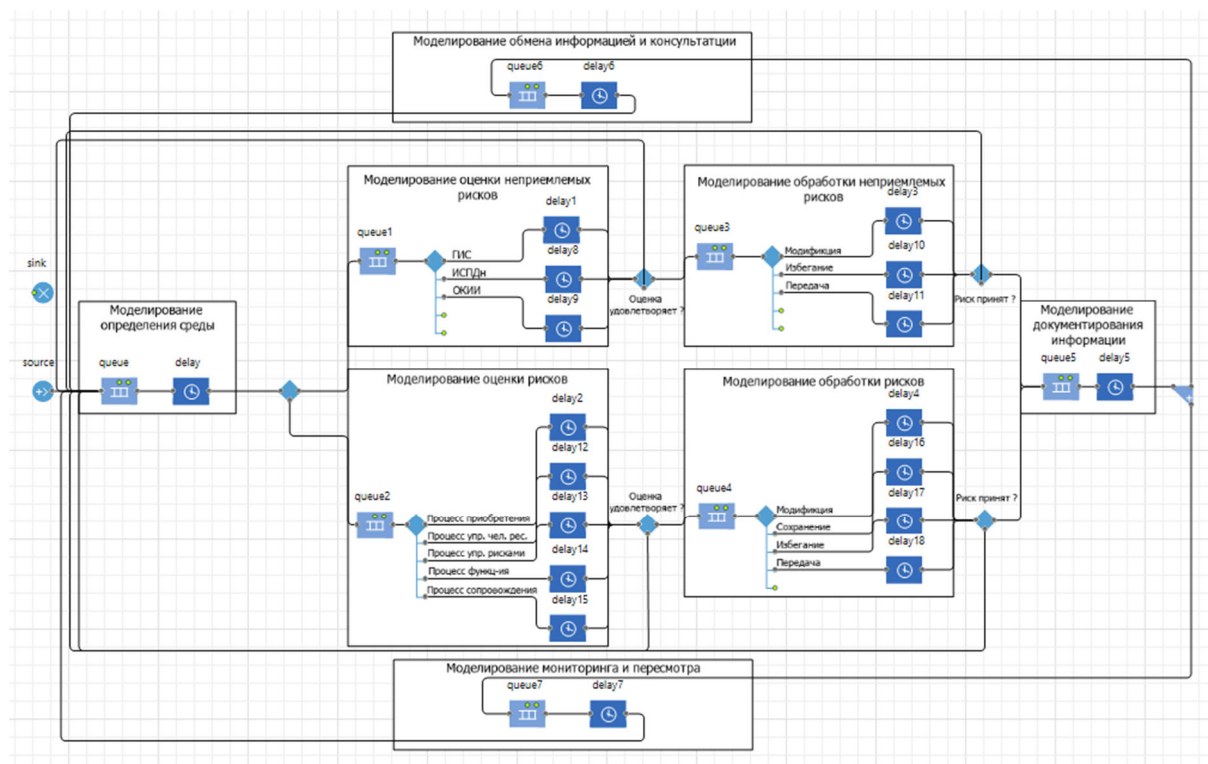


Рис. 1. Модель системы оценки рисков

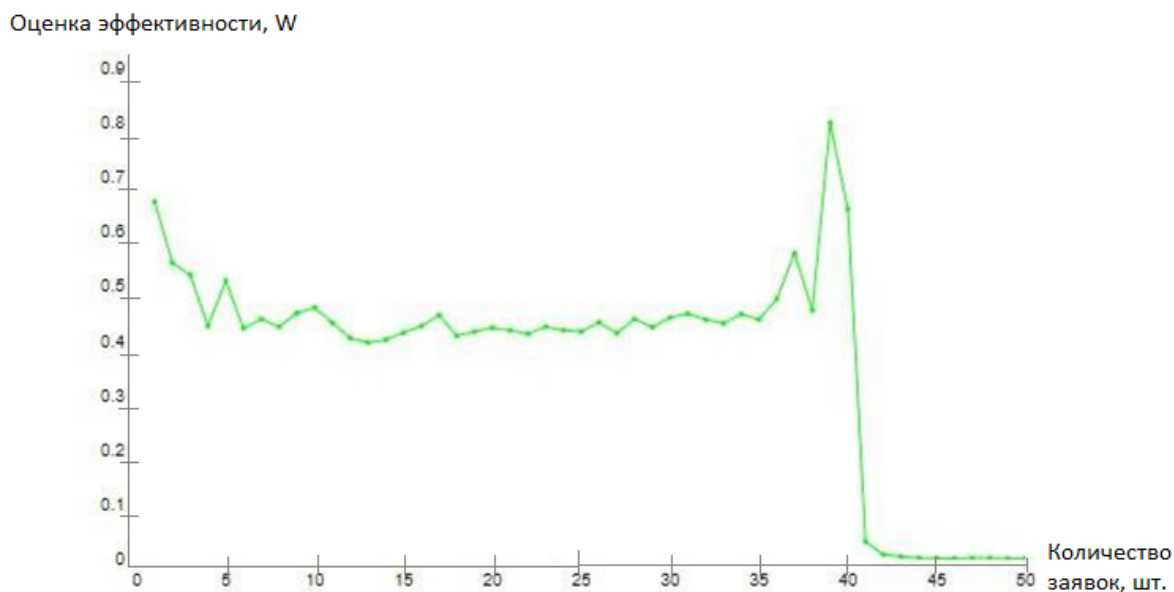


Рис. 2. Зависимость оценок эффективности

Расчеты по формулам (1) – (4) проводятся в соответствии с этапами работы модели системы оценки рисков. Данные для вычисления оценки эффективности собираются на различных этапах моделирования: моделирование определения среды, моделирование оценки неприемлемых рисков, моделирование обработки неприемлемых рисков, моделирование оценки рисков, моделирование обра-

ботки рисков, а также моделирование документации информации. Моделирование документации информации является ключевым этапом, так как к этому моменту модель собирает все необходимые для расчета вероятностей данные и вычисляет оценку эффективности. Когда все агенты проходят полный путь, модель фиксирует время работы и количество прошедших через систему агентов, демонстрируя статистику через диаграммы.

По итогам работы модели было выведено распределение времени цикла управления в виде гистограммы (рис.3), диаграмма времени ожидания обработки (рис. 4), а также получены следующие результаты оценки: при 17 498 прогонах минимальное время цикла управления техническими средствами составило $t_{\min} = 2,526$ мин, максимальное время цикла управления составило $t_{\max} = 9,999$ мин, среднее время цикла управления составило $t_{cp} = 5,002$ мин. Показатель эффективности управления рисками при проведения простого эксперимента $W_9 = 0,44$ (рис. 5).

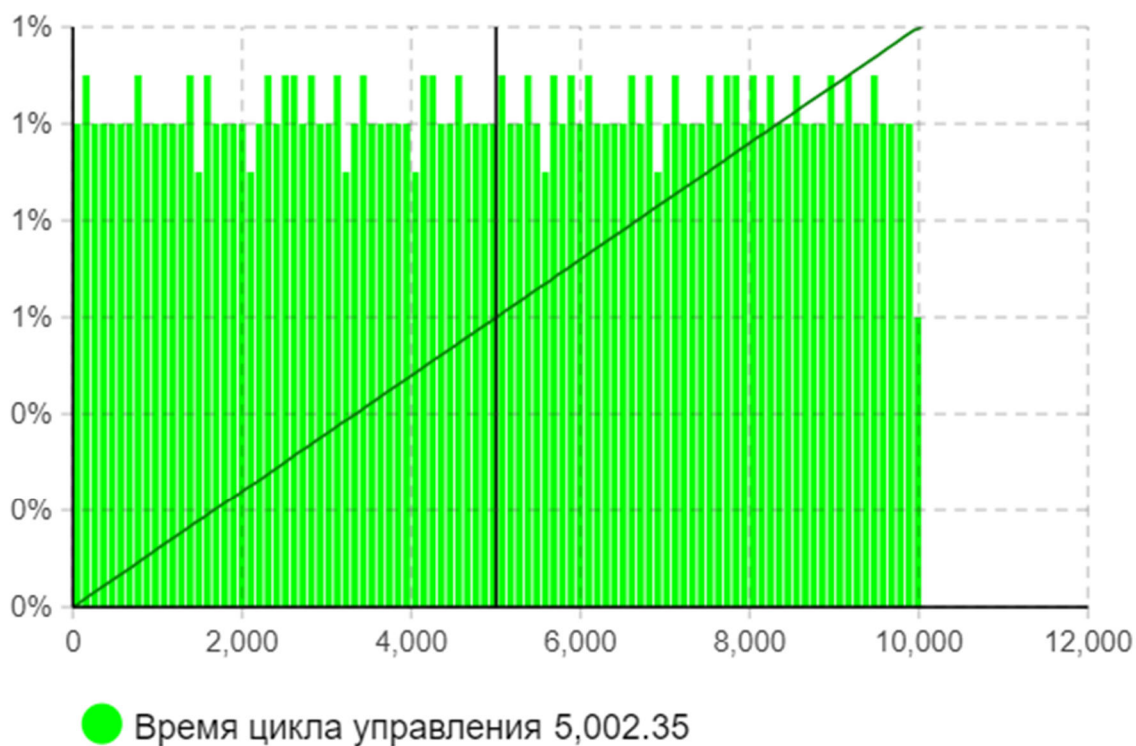


Рис. 3. Гистограмма распределения времени цикла управления

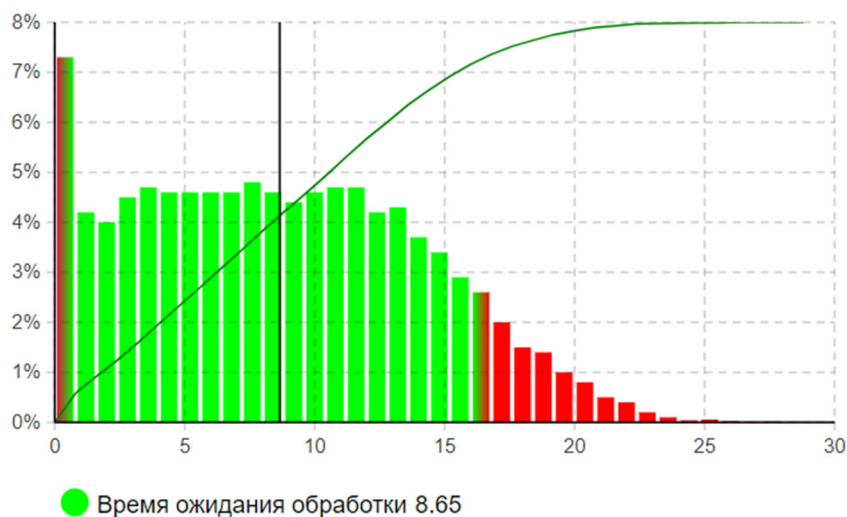


Рис. 4. Диаграмма времени ожидания обработки

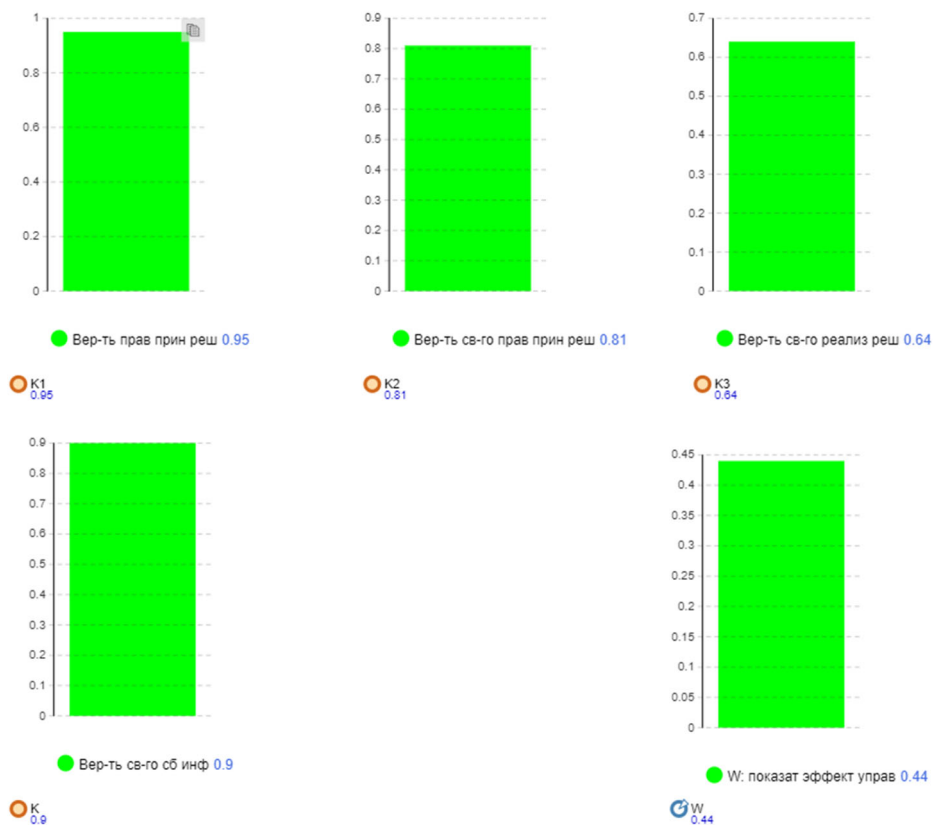


Рис. 5. Показатели эффективности управления

По итогу работы модели выводятся диаграммы, показывающие скорость работы и ожидания обработки в минутах. Основываясь на показателях диаграмм, специалисты могут решить, является ли время работы достаточно эффективным. Также приведены значения всех вероятностей, которые были использованы для

оценки эффективности: вероятность правильного принятия решения, вероятность своевременного и правильного принятия решения, вероятность своевременной реализации решения, а также вероятность своевременного сбора информации.

Заключение

Результативность созданной модели управления рисками оценивалась с учётом показателей, характеризующих своевременность и корректность принимаемых решений, что способствует максимально эффективному использованию технических ресурсов. Такой подход позволяет организации не только обеспечить высокий уровень информационной безопасности, но и адаптироваться к изменяющимся угрозам и требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Begimbayeva Y.E., Zhaxalykov T. Quantum key distribution protocols based on Heisenberg's uncertainty // Труды университета. – 2023. – No. 1(90). – P. 423–429.
2. Kosari A. Unilateral information reconciliation schemes for quantum key distribution system // Проблемы инфокоммуникаций. – 2021. – No. 2(14). – P. 44–50.
3. Suma M. R., Madhumathy P. An optimal swift key generation and distribution for QKD // Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. – 2022. – No. 1. – P. 101–113.
4. Бобков Е. О., Балашова Е. А., Крыжановский А. В. Применение технологии квантового распределения ключей в волоконно-оптических линиях связи // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 1–4. – С. 29–36.
5. Габдулхаков И.М., Морозов О.Г. Построение многоканальной системы квантового распределения ключей с частотным кодированием // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5(65). – С. 53.
6. Габдулхаков И. М., Морозов О. Г. Принципы построения универсальной системы квантового распределения ключей с частотным кодированием на основе амплитудной модуляции и фазовой коммутации // Актуальные вопросы телекоммуникаций: научно-техническая конференция Росинфоком-2017, Самара, 01 сентября 2017 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. – С. 81–82.
7. Грицкевич Е. В., Звягинцева П. А. Компьютерный анализ систем оптоэлектроники и информационной безопасности: учеб. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – 70 с.
8. Жилин С. В., Архипенко В. В., Басан Е. С. Квантовое распределение ключей по беспроводному оптическому каналу связи // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2022): материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Таганрог, 08–10 июня 2022 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – С. 194–200.
9. Луценко С. А., Заика П. В., Козлов С. Ю. Способ квантового распределения ключей в облачных сетях // Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации: труды всеармейской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 октября 2017 года. – Санкт-Петербург: Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, 2017. – С. 218–220.
10. Методика оценки угроз безопасности информации [Электронный ресурс]. – Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. – URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (дата обращения: 04.05.2025).

11. Задорин А. С., Махорин Д. А. Принцип квантового распределения ключей по оптическому волокну на основе временных сдвигов ТВ-кубитов // Известия вузов. Физика. – 2016. – № 3. – С. 24–29.
12. Жилиев А. Е. Классификация схем выработки и распределения ключей в сетях квантового распределения ключей произвольной топологии // Доклады Томского государственного университета систем и управления радиоэлектроники. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 33–39. – doi:10.21293/1818-0442-2021-24-4-33-39.
13. Патент РФ № 2621605 С. Сеть квантового распределения ключей: заявл. 02.10.2015; опубл. 06.06.2017. Заявитель: Фонд перспективных исследований. МПК H04L 9/08, H04B 10/00, G06F 21/60.
14. Патент РФ № 2706175 С1. Способ квантового распределения ключей в однопроходной системе квантового распределения ключей: заявл. 27.12.2018; опубл. 14.11.2019. – Заявитель: ОАО «Информационные технологии и коммуникационные системы». – МПК H04L 9/08, G06F 21/72.
15. Патент РФ № 2741264 С1. Способ двухуровневого управления техническими средствами (варианты): заявл. 07.07.2020; опубл. 22.01.2021. – Заявитель: Новосибирский государственный технический университет. – МПК G05B 15/00.
16. Патент РФ № 2741265 С1. Способ двухуровневого управления техническими системами (варианты): заявл. 07.07.2020; опубл. 22.01.2021. – Заявитель: Новосибирский государственный технический университет. – МПК G05B 15/00.
17. Патент РФ № 2747626 С1. Способ двухуровневого управления и система управления для его осуществления (варианты): заявл. 22.04.2020; опубл. 11.05.2021. – Заявитель: Новосибирский государственный технический университет. – МПК G05B 15/02.
18. Патент РФ № 2752844 С1. Система выработки и распределения ключей и способ распределенной выработки ключей с использованием квантового распределения ключей (варианты): заявл. 10.12.2020; опубл. 11.08.2021. – Заявитель: АО «Информационные технологии и коммуникационные системы». – МПК H04L 9/08.
19. Румянцев К. Е., Пленкин А. П. Безопасность режима синхронизации системы квантового распределения ключей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 5(166). – С. 135–152.
20. Селифанов В. В., Исаева Ю. А., Голдобина А. С., Звягинцева П. А. Имитационная модель для управления защитой информации при оценке эффективности государственных и муниципальных систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – № 7. – С. 296–299.
21. Селифанов В. А., Селифанов В. В., Звягинцева П. А., Исаева Ю. А., Голдобина А. С., Селифанов А. В. Моделирование процессов и систем защиты информации. AnyLogic: учеб. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 70 с.

© В. С. Скориков, В. В. Селифанов, 2025

Е. Ю. Солдатов¹, В. В. Селифанов¹✉

Построение системы управления инцидентами в оптотехнических системах, созданных с использованием технологии квантового распределения ключей

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: wilgieforz@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема построения системы управления инцидентами информационной безопасности в оптотехнических системах, использующих технологию квантового распределения ключей (КРК). Проведен анализ патентов, определены два ключевых документа, пригодных для разработки системы управления инцидентами информационной безопасности. Изучены подходы обработки инцидентов, обоснована применимость приказов Федеральной службы по техническому и экспортному контролю и Федеральной службы безопасности России, связанных с обработкой инцидентов. Описаны типичные атаки на КРК-системы, такие как атака с расщеплением по числу фотонов, атака «троянский конь» и ослепление детекторов с примерами их реализации. Подтверждена необходимость компьютерного моделирования для обработки данных инцидентов. Разработаны три модели: гибридная (включающая реагирование на атаки как на классический канал передачи информации, так и на оптотехнический канал КРК), и модель реагирования отдельно на классический и квантовые каналы. Сравнительный анализ моделей показал, что гибридная модель сравнима по времени цикла (34,17 мин, против классической 24,8 мин и квантовой 29,4 мин) и превосходит их по эффективности ($W_{\text{э}} = 0,79$, против классической $W_{\text{э}}=0,38$ и квантовой $W_{\text{э}}=0,34$), что делает гибридную модель перспективной для повышения безопасности КРК-систем.

Ключевые слова: информационная безопасность, уязвимости, имитационное моделирование, обработка инцидентов

E. Yu. Soldatov¹, V. V. Selifanov¹✉

Building an incident management system in optotechnical systems created using quantum key distribution technology

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: wilgieforz@mail.ru

Annotation. The paper deals with the problem of building an information security incident management system in optotechnical systems using quantum key distribution (QKD) technology. Patents are analyzed, two key documents suitable for the development of information security incident management system are identified. Incident handling approaches are studied, applicability of orders of the Federal Service for Technical and Export Control and the Federal Security Service of Russia related to incident handling is substantiated. Typical attacks on AAC systems such as photon number splitting attack, Trojan horse attack and detector blinding are described with examples of their realization. The need for computer modeling to handle these incidents is confirmed. Three models were developed: a hybrid model (including response to attacks both on the classical channel of information transmission and on the optotechnical channel of the QKD), as well as separately response to the classical and quantum channels. Comparative analysis of the models showed that the hybrid model is comparable

in cycle time (34,17 min, against the classical 24,8 min and quantum 29,4 min) and exceeds them in efficiency ($We = 0,79$, against the classical $We = 0,38$ and quantum $We = 0,34$), which makes the hybrid model promising for improving the security of QKD-systems.

Keywords: information security, vulnerabilities, simulation modeling, incident handling

Введение

Технология квантового распределения ключей (КРК) предлагает принципиально новый уровень защиты информации, основанный на фундаментальных законах квантовой механики. Однако практическая реализация оптотехнических КРК-систем сталкивается с рядом аппаратных и программных уязвимостей, которые могут быть использованы злоумышленниками. Построение эффективной математической модели системы управления инцидентами позволит своевременно выявлять попытки несанкционированного доступа к каналу связи, оценивать потенциальные угрозы для различных сетевых топологий и обеспечивать должный уровень защиты передаваемой информации в соответствии с требованиями нормативных документов [1].

Анализ патентной документации

Для разработки системы управления инцидентами проанализированы патенты: RU 2747626 C1 (2021), RU 2022663610 (2022) и RU 2764458 C1 (2022). Они отражают развитие систем управления, применимых к информационной безопасности.

– RU 2747626 C1 предлагает расширение функциональных возможностей способа и системы управления [2];

– RU 2022663610 C1 интегрирует кибербезопасность, предлагая комплексное управление [3];

– RU 2764458 C1 расширяет функционал, включая защиту информации.

Патент RU 2022663610 C1 представляет ценность для исследования КРК-систем благодаря имитационному моделированию трехуровневого управления, позволяющему оценивать эффективность алгоритмов, загрузку элементов, время выполнения функций и вероятность корректных решений, что особенно важно при разработке систем управления инцидентами в оптотехнических комплексах [4].

Подходы к обработке инцидентов ИБ

На основании проведенных мер подготовлены следующие рекомендации для центра обеспечения безопасности (SOC):

– организовать непрерывный 24/7 контроль ключевых параметров — уровня квантовых ошибок (QBER) и скорости формирования ключей;

– включить в состав группы реагирования экспертов по квантовым технологиям;

– систематически проводить учения по противодействию атакам с применением симуляционного моделирования [5];

– своевременно обновлять информационную базу о новейших методах атак

на системы квантового распределения ключей [6].

Исследование демонстрирует, что существующие системы управления инцидентами информационной безопасности недостаточно приспособлены к особым требованиям оптико-технических комплексов КРК.

Угрозы на протокол КРК и техническую реализацию

Угрозы на канал КРК принято разделять как «атаки на техническую реализацию» и «атаки на протокол КРК». КРК-системы подвержены следующим угрозам:

- атака «троянский конь»: злоумышленник направляет свет через кодирующее устройство и анализирует отраженный сигнал в диапазоне 1000-2000 нм [7]. В 2022 году сотрудники Национального исследовательского технологического университета МИСИС, при проведении эксперимента извлекли ключ с помощью этой атаки;
- атака с лазерным повреждением: использование мощного лазерного излучения для снижения эффективности оптических аттенуаторов, что делает сигнал доступным для перехвата [8];
- атаки с использованием сверхъяркого света: запуск сверхъяркого света в оптоволокно для нарушения работы источника фотонов [8];
- PNS-атака (расщепление фотонного числа): перехват и измерение части фотонов без обнаружения [8]. В 2021 году Российский квантовый центр получил 15 % ключа на канале 50 км.

Необходимость разработки компьютерной модели для эталонной модели безопасности КРК-систем

Разработка компьютерной модели гибридной системы реагирования на атаки обусловлена следующими ключевыми факторами:

- интеграция защиты разнородных каналов: классические и квантовые каналы имеют принципиально разные уязвимости, требующие комплексного подхода и единой стратегии противодействия мультивекторным атакам;
- отсутствие адаптированных решений: современные системы управления инцидентами не учитывают специфику оплотехнических систем КРК, что создает потребность в создании эталонной модели при значительно меньших затратах по сравнению с экспериментами на реальной инфраструктуре;
- противодействие невыявленным угрозам: модель позволит разрабатывать превентивные механизмы защиты от атак, которые остаются незамеченными существующими системами обнаружения вторжений, объединяя преимущества различных типов моделирования для более эффективной защиты.

Построение моделей

Для реализации математических моделей системы управления инцидентами в оплотехнических системах с использованием технологии КРК было выбрано программное обеспечение AnyLogic. Это мощный инструмент для имитационного моделирования, поддерживающий дискретно-событийное, агентное и си-

стемно-динамическое моделирование, что делает его подходящим для моделирования сложных систем, таких как системы управления инцидентами в квантовых сетях [9].

В рамках разработки модели в AnyLogic реализован процесс управления инцидентами, включающий этапы обнаружения, анализа, реагирования и восстановления. Модели учитывают специфику КРК, включая мониторинг параметров, таких как уровень квантовых ошибок (QBER) и скорость генерации ключей, а также обработку атак на квантовые каналы. Использование AnyLogic позволило создать виртуальную среду для тестирования различных сценариев инцидентов, что минимизирует затраты на физические эксперименты [10].

Разработаны три модели в AnyLogic:

- гибридная: гибридная модель, включающая реагирование на атаки как на классический канал передачи информации, так и на оплотехнический канал КРК (рис. 1, 2, 3).
- классическая: реагирование на классический канал передачи информации;
- квантовая: реагирование на оплотехнический канал квантового распределения ключей;

Модели симулируют угрозы и оцениваются по эффективности.

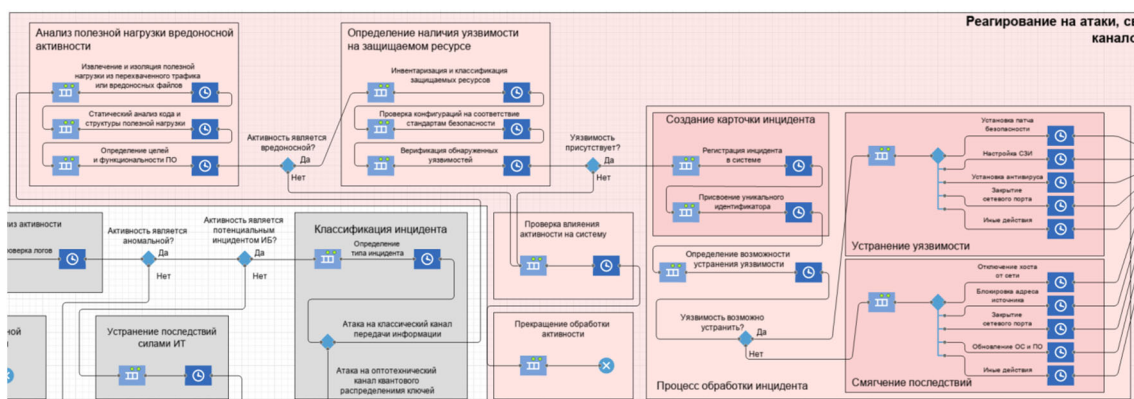


Рис. 1. Блок реагирования на атаки классического канала передачи информации

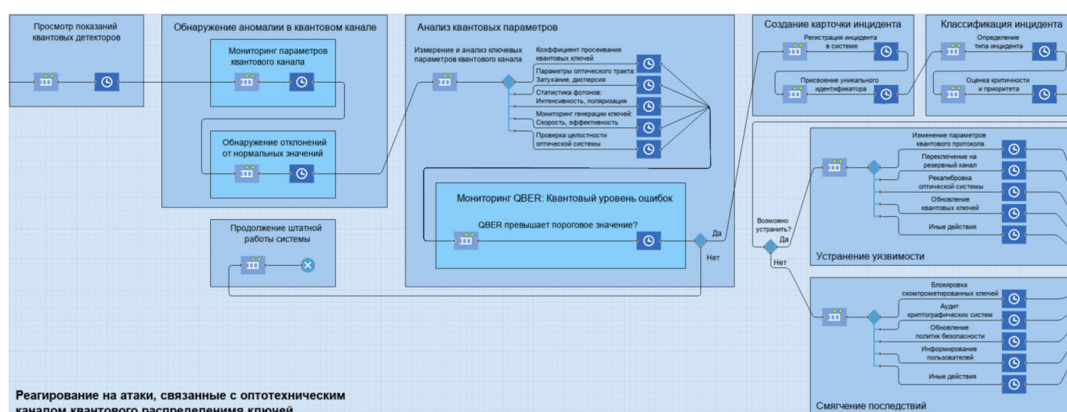


Рис. 2. Блок реагирования на атаки оплотехнического канала КРК

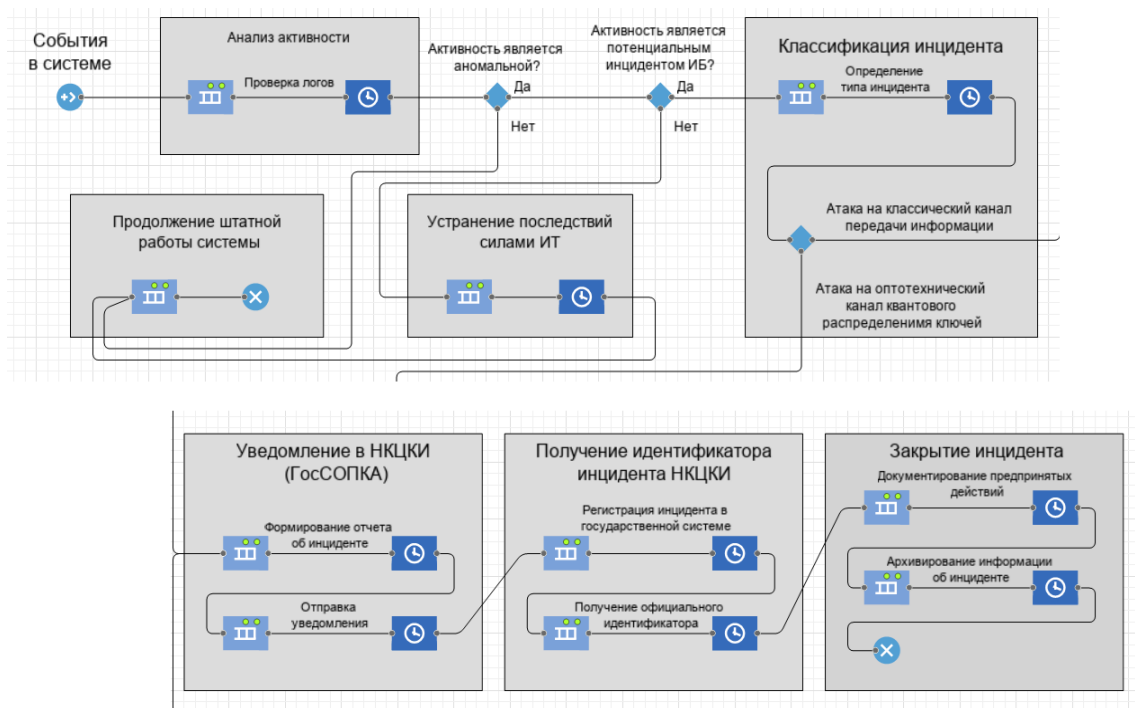


Рис. 3. Общий блок реагирования на атаки передачи информации

Оценка эффективности

Эффективность моделей оценивалась по формуле:

$$W_{\varepsilon} = P_{св.сб} \times P_{np} \times P_{св.пр} \times P_p, \quad (1)$$

где $P_{св.сб}$ – вероятность своевременного сбора всей необходимой для принятия решений информации; P_{np} – вероятность правильного принятия решений; $P_{св.пр}$ – вероятность своевременного и правильного принятия решений; P_p – вероятность своевременной реализации принятых решений.

Результаты моделирования после 19 126 прогонов представлены в табл.1.

Таблица 1

Сравнительный анализ моделей

Показатель	Гибридная модель	Классическая модель	Квантовая модель
Среднее время цикла, мин	34,17	24,80	29,40
Минимальное время, мин	1,31	4,10	15,20
Максимальное время, мин	132,25	144,40	112,50
W_{ε}	0,79	0,38	0,34

Гибридная модель демонстрирует меньшее время цикла (на 30 % по сравнению с классической и на 15% – с квантовой) и более высокую эффективность ($W_{\text{э}} = 0,79$, против классической $W_{\text{э}}=0,38$ и квантовой $W_{\text{э}}=0,34$), что подтверждает ее преимущество.

Заключение

В результате исследования была разработана гибридная имитационная модель процесса обработки инцидентов информационной безопасности в оптотехнических системах с использованием технологии КРК, отличающаяся от рассмотренных подходов реагирования на классический и квантовый каналы передачи информации. Патент RU 2022663610 С1 важен для исследования систем КРК, так как предлагает имитационное моделирование трехуровневого управления, обеспечивающее комплексную метрологическую оценку производительности и надежности систем управления инцидентами в оптотехнической инфраструктуре. Определены ключевые решения, а также изучены подходы к процессу обработки инцидентов в разных каналах передачи информации. Оценка эффективности показала превосходство гибридной модели: $W_{\text{э}} = 0,79$, против классической $W_{\text{э}}=0,38$ и квантовой $W_{\text{э}}=0,34$. Реализация предложенной модели обеспечивает высокий уровень безопасности КРК-систем, позволяя эффективно реагировать на инциденты и оптимизировать проектирование защищенных оптотехнических решений для различных приложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голдобина А.С. Выбор имитационной модели процессов управления защитой информации для оценки эффективности государственных и муниципальных систем / А. С. Голдобина // Доклады ТУСУР. – Томск : ТУСУР, 2018. – Т. 21, №2. – С. 51-58.
2. Патент № 2747626 С1 Российская Федерация, МПК G05B 15/02. Способ двухуровневого управления и система управления для его осуществления (варианты) : № 2020114340 : заявл. 22.04.2020 : опубл. 11.05.2021 / В. А. Селифанов, В. В. Селифанов, А. В. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663610 Российская Федерация. Имитационная модель процессов трехуровневого автоматизированного управления техническими средствами № 2461859-1 : № 2022660418 : заявл. 07.06.2022 : опубл. 18.07.2022 / В. А. Селифанов, А. В. Селифанов, В. В. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».
4. Патент № 2764458 С1 Российская Федерация, МПК H04L 9/08. Способ распределения симметричных ключей между узлами вычислительной сети с системой квантового распределения ключей : № 2021113834 : заявл. 17.05.2021 : опубл. 17.01.2022 / М. А. Бородин, А. С. Рыбкин ; заявитель Акционерное общество «Информационные технологии и коммуникационные системы».
5. Об оценке эффективности защиты от оптических атак на волоконные квантовые криптографические системы выработки и распределения ключей / Дворецкий Д. А., Зазыкин А. П. // Научно-технический журнал «Фотон-Экспресс», 2023 г. : сборник материалов в 1 томе / МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023 г. – С. 59-60.

6. Yuan Z. et al. Practical quantum key distribution with enhanced security // Phys. Rev. A. 2016. – P. 1-6.
7. Weier H. et al. Trojan-horse attacks on quantum key distribution systems // New J. Phys. 2011. – P. 8-12.
8. Исследование уязвимости систем квантового распределения ключей от атак с лазерным повреждением оптических компонентов на основе устройства с разрушающимся зеркалом / С.В. Алферов // Письма в Журнал технической физики. – Москва : Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, – 2023. – Т. 49, №5. – С. 43-46.
9. Моделирование процессов и систем защиты информации AnyLogic [Текст] : учебное пособие / А. В. Шабурова, В. А. Селифанов, В. В. Селифанов, П. А. Звягинцева, Ю. А. Исаева, А. С. Голбодин, А. В. Селифанов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 70 с.
10. AnyLogic. Справочное руководство по библиотеке моделирования процессов [Электронный ресурс]. – URL: <https://anylogic.help/ru/library-reference-guides/process-modeling-library/index.html>.

© Е. Ю. Солдатов, В. В. Селифанов, 2025

Д. Х. Таргын^{1✉}, И. Н. Карманов¹

Методы аутентификации и авторизации в государственных приложениях

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: dtargyn02@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы аутентификации и авторизации, применяемые в государственных приложениях для обеспечения безопасности данных. Особое внимание уделено многофакторной аутентификации и биометрическим технологиям. Анализируются преимущества и недостатки различных подходов, а также их соответствие требованиям информационной безопасности. Приводятся примеры успешного внедрения данных технологий в государственном секторе.

Ключевые слова: аутентификация, авторизация, многофакторная аутентификация, биометрия, государственные приложения, информационная безопасность

D. H. Targyn^{1✉}, I. N. Karmanov¹

Methods of authentication and authorization in government applications

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: dtargyn02@mail.ru

Abstract. The article examines modern authentication and authorization methods used in government applications to ensure data security. Particular attention is paid to multi-factor authentication and biometric technologies. The advantages and disadvantages of various approaches, as well as their compliance with information security requirements, are analyzed. Examples of successful implementation of these technologies in the public sector are given.

Keywords: authentication, authorization, multi-factor authentication, biometrics, government applications, information security

Введение

Государственные приложения обрабатывают конфиденциальные данные граждан, включая персональные, финансовые и медицинские сведения. Утечка или несанкционированный доступ к такой информации могут привести к серьезным последствиям, включая финансовые потери и угрозы национальной безопасности.

В связи с этим, разработка надежных методов аутентификации и авторизации становится важной задачей. Современные технологии, такие как многофакторная аутентификация (МФА), биометрия и децентрализованные системы, позволяют значительно повысить уровень защиты

Цель данной статьи – проанализировать актуальные методы аутентификации и авторизации, применяемые в государственных приложениях, оценить их эффективность и перспективы развития.

Однофакторная и многофакторная аутентификация

Аутентификация пользователей является фундаментальным элементом защиты информационных систем, особенно в государственном секторе, где обрабатываются конфиденциальные данные граждан. Исторически первой и наиболее распространенной формой аутентификации остается однофакторная система, основанная на связке логина и пароля. Однако, традиционная однофакторная аутентификация уязвима к фишингу (вид интернет-мошенничества, целью которого является получение идентификационных данных пользователей), брутфорс-атакам (систематический перебор всех возможных комбинаций символов до тех пор, пока не будет найдена правильная комбинация) и утечкам данных. С развитием киберугроз и методов взлома данный подход демонстрирует уязвимость [1].

В качестве ответа на такие атаки в государственных приложениях все чаще внедряется многофакторная аутентификация, требующая подтверждения личности через несколько независимых факторов. Технические стандарты (ГОСТ Р 57580.1-2017) [2] определяют три основных категории аутентификационных факторов:

- что-то, что знает пользователь – пароли, PIN-коды, контрольные вопросы;
- что-то, что есть у пользователя – токен, смарт-карта, SMS-код;
- что-то, что является частью пользователя – отпечатки пальцев, сканирование лица, голосовая идентификация.

Основные преимущества МФА:

- защита от наиболее распространенных атак: фишинга, брутфорса;
- поддержка различных сценариев использования (удаленный доступ, мобильные приложения);
- интеграция с PKI-инфраструктурой (инфраструктурой открытых ключей, Public Key Infrastructure) для государственных сервисов;
- совместимость с требованиями GDPR (европейский закон) и ФЗ-152 (Федеральным законом «О персональных данных») о персональных данных.

Основные недостатки МФА:

- увеличение времени аутентификации;
- необходимость наличия дополнительных устройств (телефон, токен);
- возможность перехвата SMS-кодов;
- сложности при восстановлении доступа.

Примеры внедрения МФА:

- Единая система идентификации и аутентификации (ЕСИА) в России использует СМС-коды и электронную подпись;

– Госуслуги поддерживают вход через МФА (пароль + подтверждение по телефону или e-mail).

Биометрическая аутентификация

Биометрическая аутентификация становится ключевым элементом современных систем информационной безопасности, предлагая уникальное сочетание высокой надежности и удобства пользователя [3]. В отличие от традиционных методов, основанных на знаниях (пароли) или владении (токены), биометрия использует уникальные физиологические или поведенческие характеристики человека, что существенно усложняет возможность несанкционированного доступа.

Согласно исследованиям, глобальный рынок биометрических технологий растет со среднегодовым темпом 15,2 % [4], а в государственном секторе их внедрение ускоряется благодаря нормативным требованиям. Например, стандарты NIST SP 800-63B и ISO/IEC 19794 [5] регламентируют использование биометрии в системах идентификации, устанавливая требования к точности (FAR/FRR) и защите данных.

Основные преимущества биометрической аутентификации:

- высокая точность (вероятность ошибки менее 0,01% для современных алгоритмов распознавания лица);
- удобство использования (не требует запоминания паролей или ношения токенов);
- неотторгаемость (биометрические характеристики сложно передать третьим лицам).

Однако, внедрение биометрии сопряжено с рядом технических и правовых вызовов, таких как:

- угрозы спуфинга (использование масок, фотографий или синтезированных голосов [6]);
- проблемы конфиденциальности (хранение и обработка биометрических шаблонов);
- нормативные ограничения (требования ФЗ-152 «О персональных данных» [7]).

Примеры внедрения:

- интеграция с Единой системой идентификации и аутентификации (ЕСИА);
- система «Мир Рау» с биометрией;
- биометрический контроль в аэропортах;
- Госуслуги с биометрией;
- банковский сектор (Сбербанк: вход в СберБанк Онлайн по лицу; ВТБ: биометрические банкоматы; Тинькофф: голосовая идентификация в колл-центре).

Заключение

Исходя из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что современные методы аутентификации и авторизации в государственных приложениях демонстрирует сложную эволюцию систем информационной безопасности – от традиционных парольных механизмов к комплексным многофакторным решениям, интегрирующим биометрические, криптографические и аппаратные технологии. Российская практика внедрения этих систем отражает глобальные тренды цифровой трансформации государственных сервисов, одновременно формируя уникальную модель безопасности.

МФА стала отраслевым стандартом, доказав эффективность комбинации «знание+владение+биометрия». Российские решения, такие как ЕСИА, Единая биометрическая система (ЕБС [8]) соответствуют мировым практикам. Достигнуто снижение атак на 80-90 % по сравнению с парольными системами

Биометрические технологии перешли в стадию зрелого внедрения. Сформирована нормативная база (ФЗ-476, стандарты Центрального Банка РФ). Создана масштабируемая инфраструктура (ЕБС с более 15 млн пользователей).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Десятов С. В. Сравнительный анализ достоинств и недостатков наиболее распространенных методов идентификации и аутентификации пользователей и других участников идентификационных процессов / С. В. Десятов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 8. – С. 314-323.
2. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов, Базовый состав организационных и технических мер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200146534> (дата обращения 10.04.2025).
3. Козлов М. А. Биометрические системы, применяемые для контроля доступа в организациях / М. А. Козлов, А. Н. Поликанин // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 111-117.
4. Tadviser, Биометрическая идентификация (мировой рынок). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/117554> (дата обращения 10.04.2025).
5. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов, Форматы обмена биометрическими данными. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200129505> (дата обращения 10.04.2025).
6. Голос становится объектом права. Как его защитить в эпоху дипфейков и искусственного интеллекта // Tadviser: Государство. Бизнес. Технологии. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/a/845638> (дата обращения: 10.04.2025 г.)
7. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 152 "О персональных данных" (с изменениями на 8 августа 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901990046> (дата обращения: 10.04.2025 г.).
8. Единая биометрическая система (ЕБС) // Tadviser: Государство. Бизнес. Технологии. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/a/399126/> (дата обращения: 10.04.2025 г.).

© Д. Х. Таргын, И. Н. Карманов, 2025

М. И. Сиротина^{1✉}, К. Черкасова¹

Возможности применения искусственного интеллекта при мониторинге городских территорий

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sirotina-02@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможностей и перспектив применения технологий искусственного интеллекта в области мониторинга городских территорий. Рассматриваются примеры применения анализа больших объемов пространственных данных, полученных из различных источников – датчиков умных городов, видеокамер наблюдения и др., с целью повышения эффективности управления городскими системами и инфраструктуры.

Ключевые слова: Мониторинг городской среды, искусственный интеллект

M. I. Sirotina^{1✉}, K. Cherkasova¹

Possibilities of using artificial intelligence for monitoring urban areas

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sirotina-02@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the possibilities and prospects for the application of artificial intelligence technologies for monitoring urban areas. Examples of the application of the analysis of large volumes of spatial data obtained from various sources - smart city sensors, surveillance cameras, etc., are considered in order to improve the efficiency of managing urban systems and infrastructure.

Keywords: Urban environment monitoring, artificial intelligence

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) является одним из лидирующих способов сбора данных для мониторинга городских территорий, так как именно благодаря этому открываются новые возможности для производства анализа и управления городскими процессами [1]. Цель статьи – обзор возможностей применения искусственного интеллекта в мониторинге городской среды. Для достижения цели необходимо решить ряд задач:

- рассмотреть преимущества применения искусственного интеллекта в мониторинге городской среды;
- рассмотреть уже существующие области применения искусственного интеллекта в городской среде;
- рассмотреть, как искусственный интеллект помогает в решении глобальных проблем человечества.

Произведение оценки состояния городской инфраструктуры, контроль и управление транспортных процессов, определение качества воздуха и прочих

экологических проблем, анализ социальной активности и поведения граждан, все эти процессы и не только охватывают возможности ИИ. Активное развитие городов с помощью сбора данных с различных сенсоров, камер видеонаблюдения и мобильных приложений, значительно помогает при создании умных и устойчивых городов, а все данные, получаемые через данные ресурсы, обрабатываются ИИ, что значительно облегчает работу людей [1, 2].

Одним из основных преимуществ ИИ является тот факт, что с помощью данных, которые уже существуют, можно составить спрогнозированную модель будущего. Алгоритмы, которые заложены в основе ИИ, включают в себя множество данных, с помощью которых устанавливается упорядоченная повторяющаяся система изменений в городской среде. Так после проведения анализа имеющихся данных, можно составить прогноз на будущее. Яркими примерами систем использующих ИИ являются системы, которые могут показать загруженность дорог, определять потенциальные зоны с высоким уровнем загрязнения воздуха или даже прогнозировать криминальную активность. С помощью данных, полученных искусственным интеллектом, органы власти могут провести предупреждающие, предохранительные действия, которые в дальнейшем помогут улучшить жизнь граждан. Значительно повысилось качество управления ресурсами городов после применения возможностей ИИ [3]. Коммунальные и инфраструктурные объекты стали использоваться более оптимизировано, после того как люди начали применять ИИ в этой сфере.

Например, с помощью систем, которые используют ИИ, облегчилось управление движением, можно регулировать работу светофоров, учитывая поток автомобилей и пешеходов, что не только снижает время в пути, но и уменьшает уровень выбросов. Аналогично, мониторинг состояния инфраструктуры дорог и мостов, с использованием ИИ позволяет своевременно выявлять проблемные участки и проводить необходимые ремонты.

Далее рассматриваются области применения искусственного интеллекта в городской среде:

- мониторинг состояния зданий и сооружений: технологии искусственного интеллекта позволяют находить и анализировать дефекты и деформации зданий для предотвращения их разрушения;

- контроль изменения параметров окружающей среды: для каждого человека, проживающего в крупном городе или мегаполисе, важны состояние атмосферного воздуха, водных объектов и радиационный фон для комфортного проживания. С помощью технологий искусственного интеллекта можно оценивать состояние атмосферного воздуха, уровень шума и качество питьевой воды, предоставляя оперативные данные органам власти для принятия управленческих решений по улучшению экологической обстановки;

- оптимизация городского хозяйства: применяя алгоритмы машинного обучения, можно повысить эффективность коммунальных услуг, например, уборки снега, вывоз мусора и ремонт коммуникаций. Искусственный интеллект может применяться для автоматизированного распределения ресурсов и техники, опре-

деления приоритетных зон ремонта и обслуживания, а также для повышения оперативности реакции на жалобы населения.

Не менее эффективным является применение нейронных сетей для прогнозирования уровня весенних паводков. Для прогнозирования весенних паводков с использованием искусственного интеллекта, была разработана специальная методика, ее основные положения сводятся к следующему:

- методика позволяет осуществлять прогнозирование уровня подъема воды в реке в период весеннего половодья как на данный момент, так и на перспективу с отслеживанием ситуации в реальном времени;

- прогноз выполняется для участка реки в районе конкретного поста наблюдения, особенности которого используются при настройке системы прогнозирования с помощью соответствующей базы данных [3].

Возможности искусственного интеллекта для Земли значительны. Сегодняшнее прогрессивное развитие систем искусственного интеллекта позволит использовать его почти во всех сферах жизни. Когда задумываются о выгоде и новых решениях для человечества, в первую очередь необходимо помнить об окружающей среде. Сегодня человечество живет в захватывающее время: у него появилась возможность решать некоторые из самых больших проблем мира с помощью новых технологий, таких как ИИ. Пришло время использовать нейронные сети на благо планеты [4].

Стоит отметить, что уже сегодня для решения глобальных проблем человечества используется искусственный интеллект:

- климатические изменения: с помощью умных технологий появилась возможность моделировать климатические изменения на несколько лет вперед, анализировать данные о выбросах вредных веществ в атмосферу;

- поддержание мирового океана в здоровом состоянии: рыбы-роботы для борьбы с загрязнением, мониторинг температуры и уровня pH океана в режиме реального времени, картирование коралловых рифов, контроль и борьба с браконьерским промыслом;

- мониторинг экосистем: с помощью искусственного интеллекта можно обрабатывать и анализировать аэрофотоснимки, которые позволяют отслеживать состояние окружающей среды – лесов, почвы и водных объектов;

- погодоустойчивость и устойчивость к стихийным бедствиям: усовершенствованные системы заблаговременного предупреждения в целях обеспечения погодоустойчивости и устойчивости к стихийным бедствиям, автоматизированная минимизация рисков наводнения, аналитическая информация по текущим рискам в режиме реального времени для служб оперативного реагирования [4, 5].

Заключение

Применение ИИ в мониторинге городских территорий также открывает новые горизонты для повышения взаимодействия и участия граждан в управлении городом. Современные платформы на основе ИИ позволяют жителям сообщать о проблемах в режиме реального времени, анализировать данные о состоянии го-

родской среды и предлагать способы улучшения. Такие системы способствуют формированию активного гражданского общества и стимулируют вовлечение населения в процесс принятия решений на местном уровне, что в конечном итоге способствует созданию безопасных, удобных и устойчивых городских пространств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расходчиков, А. Н. Искусственный интеллект и «умный город»: от цифровизации к городу-инновации / оциально-политические ауки. 022. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyu-intellekt-i-umnyu-gorod-ot-tsifrovizatsii-k-gorodu-innovatsii> (дата обращения: 02.05.2025).
2. Потенциальное применение технологий искусственного интеллекта на благо окружающей среды [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.ecolife.ru/infos/agentstvo-ekoinnovatsijj/48171/>
3. Титова, В. Э. Использование искусственного интеллекта при прогнозировании неблагоприятных ситуаций на городских территориях / В. Э. Титова, К. В. Пачев, В. С. Балахон // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 2. – С. 86-89. – EDN IAAVET.
4. Современная урбанистика: социальное благополучие и цифровая трансформация города: сборник материалов международной научно-практической конференции, 30 ноября 2023 года, г. Минск, Республика Беларусь / БГУ, Фак. философии и социальных наук, Каф. социальной коммуникации; [редкол.: И.В. Пинчук (отв. ред.) и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 236-240.
5. Власова Е.Л. Искусственный интеллект в архитектурно- градостроительном проектировании / Е.Л. Власова, М.Л. Власова, Н.В. Боровикова, Д.В. Карелин // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. №4(65). С. 311-324. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/4kvart23/PDF/20_vlasova.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-311-324

© М. И. Сиротина, К. Черкасова, 2025

А. В. Шуверов¹✉, Е. А. Усанькова¹

Управление наукоемкой продукцией: стратегии, практики, тенденции и прогнозы будущего

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: shuverovan@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена методика интеграции системы распознавания лиц NeuroVision в ИТ-инфраструктуру финансовой компании. Описана конвейерная архитектура: сбор и предобработка видеопотока, алгоритмическое сопоставление, взаимодействие через REST API и хранение данных в распределенной базе. Разработаны ключевые метрики: комплексная точность распознавания (CAR), скорость отклика (SRT), коэффициенты ошибок (FAR, FRR), индекс экономии от предотвращения мошенничества (FPSI), период окупаемости (PP) и комплексный индекс эффективности интеграции (CIEI). Экспериментальные испытания показали 99 % успешных запросов API, сокращение времени обработки с 24 мин до 8 мин и снижение уровня мошенничества с 5 % до 2 %, а также улучшение показателей клиентского опыта. Научная новизна заключается в использовании комплексного подхода к оценке технических, экономических и социальных эффектов биометрической автоматизации в банковском секторе.

Ключевые слова: биометрическая аутентификация, распознавание лиц, интеграция ИТ-систем, CAR, период окупаемости, экономический эффект, клиентский опыт

A. V. Shuverov¹✉, E. A. Usankova¹

Life high-tech products: strategies, practices, trends and forecasts of the future

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: shuverovan@yandex.ru

Abstract. The article presents a methodology for integrating the NeuroVISION facial recognition system into the IT infrastructure of a financial company. The pipeline architecture is described: video stream collection and preprocessing, algorithmic matching, interaction via REST API and data storage in a distributed database. Key metrics have been developed: comprehensive recognition accuracy (CAR), response rate (SRT), error coefficients (FAR, FRR), fraud Prevention Savings Index (FPSI), payback period (PP) and Comprehensive Integration Efficiency Index (CIEI). Experimental tests have shown 99% successful API requests, a reduction in processing time from 24 minutes to 8 minutes, and a reduction in fraud from 5 to 2%, as well as improved customer experience. The scientific novelty lies in the use of an integrated approach to assessing the technical, economic and social effects of biometric automation in the banking sector.

Keywords: biometric authentication, facial recognition, IT system integration, CAR, payback period, economic impact, customer experience

Введение

Нейросетевые технологии играют ключевую роль в цифровой трансформации экономики и позволяют автоматизировать сложные бизнес-процессы, что

подтверждено исследованиями перспектив развития нейросетевых технологий в условиях цифровизации экономики [1]. В условиях активной цифровизации и роста киберугроз финансовый сектор предъявляет все более жесткие требования к надежности методов аутентификации. В финансовом секторе применение искусственного интеллекта способствует оптимизации процессов принятия решений и снижению рисков мошенничества, как показано в анализе роли искусственного интеллекта в финансовом секторе [2]. Для оценки качества биометрической идентификации в реальных операционных условиях используется подход с учетом искажающих факторов, предложенный в методике оценки качества биометрической идентификации [3]. Биометрические технологии распознавания лиц позволяют автоматизировать идентификацию пользователей, снижая риски несанкционированного доступа и финансовых потерь [4]. Для анализа существующих технологий распознавания образов можно обратиться к обзору, рассматривающему основные методы и алгоритмы биометрического распознавания образов [5]. Система NeuroVision [6], основанная на гибридной конвейерной архитектуре, объединяет модули предобработки видеопотока, алгоритмического сопоставления и взаимодействия через REST API с распределенной базой данных (рис. 1) [7]. Развитие искусственного интеллекта в России определяется национальными стратегиями и указами, такими как Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

Для комплексной оценки эффективности внедрения разработаны ключевые метрики: комплексная точность распознавания (CAR), среднее время отклика (SRT), коэффициенты ложных срабатываний и пропуска (FAR, FRR), индекс экономики от предотвращения мошенничества (FPSI) и период окупаемости инвестиций (PP). Полевые испытания в IT Smart Finance показали сокращение среднего времени обработки заявки с 24 до 8 минут и снижение уровня мошенничества с 5 до 2 % [8].

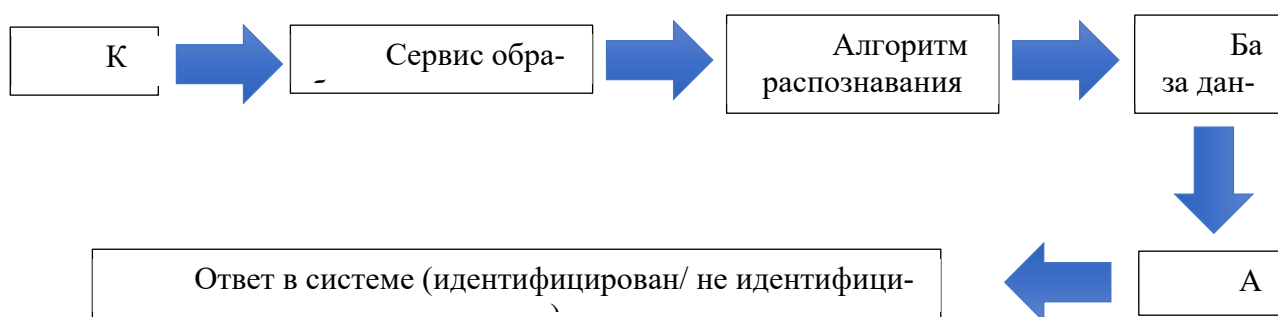


Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов системы NeuroVision

Методы исследования

В работе использована модульная конвейерная архитектура обработки видеопотока, включающая пять основных этапов: захват кадров с камер наблюдения, предобработка (кадрирование, нормализация яркости, фильтрация шумов) [9], экстракция биометрических признаков, алгоритмическое сопоставление с эталонами и передача результатов через REST API в распределенную базу данных.

Для количественной оценки работы системы определены следующие метрики: комплексная точность распознавания (*CAR*), среднее время отклика (*SRT*), коэффициенты ложных срабатываний и пропусков (*FAR*, *FRR*), экономический индекс предотвращения мошенничества (*FPSI*), период окупаемости (*PP*) и комплексный индекс эффективности интеграции (*CIEI*).

Нагрузочное тестирование проводилось при параллельных запросах в диапазоне от 100 до 1 000 соединений (табл. 1): время отклика росло от 20 до 60 мс, что позволило построить зависимость *SRT* от уровня нагрузки и проверить стабильность *CAR*.

Таблица 1

Запросы количество в секунду	Время обработки, мс
100	20
200	25
400	30
600	40
800	50
1000	60

Распределение времени обработки по этапам (предобработка, экстракция признаков, принятие решения) показало, что на сопоставление уходит около 45 % общего времени, а на предобработку – 40 %.

Для оптимизации поиска в базе применен кластерный анализ эталонных образцов лиц: похожие профили объединялись в группы, что ускорило процесс сопоставления за счет сокращения числа прямых сравнений.

Результаты

В ходе комплексной интеграции и апробации NeuroVision в ИТ-среде IT Smart Finance система продемонстрировала исключительно высокие показатели распознавания и устойчивости к нагрузкам. На выборке из 24 738 транзакций были получены значения $TP = 11\,982$, $TN = 12\,584$, $FP = 68$ и $FN = 104$, что при расчете по формуле

$$CAR = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (1)$$

дает значение точности распознавания более 99,3 %. При оптимальном пороге чувствительности система достигла уровня Equal Error Rate (*EER*) всего 0,72 % [8], что значительно превосходит среднеотраслевые показатели и практически исключает ложноположительное одобрение мошеннических попыток (рис. 2).

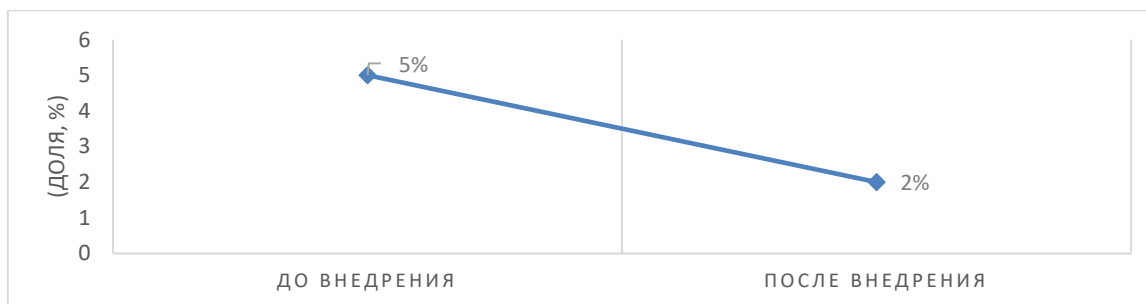


Рис. 2. Уровень мошенничества до и после внедрения

Тестирование производительности при разных уровнях нагрузки (до 10 запросов/с – 0,143 с, 10–50 запросов/с – 0,278 с, 50–100 запросов/с – 0,412 с) показало, что среднее время отклика остается в пределах долей секунды даже при пиковых нагрузках (рис. 3).

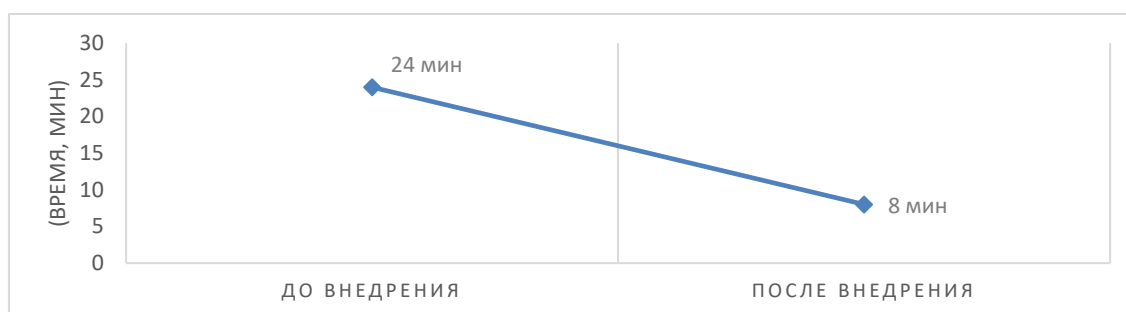


Рис. 3. Среднее время обработки заявок

Распределение времени по этапам конвейера (40 % на предобработку, 45 % на экстракцию и сопоставление, 15 % на формирование ответа) позволяет выделить узкие места и целенаправленно оптимизировать алгоритмы.

Полевые испытания в реальных условиях IT Smart Finance подтвердили технические результаты: комплексная точность распознавания составила 99,8 %, а среднее время обработки одной заявки сократилось с 24 до 8 минут. При этом доля мошеннических попыток уменьшилась с 5 П до 2 %, что эквивалентно снижению потерь от мошенничества на 60 % при годовом объеме заявок в 500 млн руб. Благодаря снижению времени обработки и ошибок, пропускная способность системы возросла на 200 %, что позволило обрабатывать в три раза больше заявок за тот же период.

Экономическая модель, построенная на реальных данных компании, показала возврат инвестиций (*ROI*) на уровне 50 % и период окупаемости (*PP*) 8 месяцев. Это подтверждает высокий экономический эффект проекта и обосновывает дальнейшее масштабирование решения.

Для комплексной оценки внедрения был введен интегральный индекс эффективности интеграции (*CIEI*). Его значение росло от 0,927 после первого месяца до 1,169 к концу третьего, что на 16,9 % превышает отраслевые стандарты.

Наконец, предварительный анализ клиентского опыта продемонстрировал значительный рост ключевых метрик: среднее время от подачи заявки до решения (*TTA*) сократилось с 24,0 мин до 6,5 мин, доля завершивших заявку пользователей (*CTC*) выросла на 28,5 пункта, а уровень отказов (*SAR*) снизился на 11,5 пункта. Это свидетельствует о повышении удобства и скорости взаимодействия с сервисом.

Заключение

В результате проведенного исследования показано, что интеграция решения NeuroVision в ИТ-инфраструктуру IT Smart Finance обеспечивает высокую точность и надежность биометрической аутентификации. Комплексная точность распознавания превысила 99,8 %, что практически исключает ошибочное одобрение мошеннических попыток. Среднее время обработки заявки сократилось с 24 ч до 8 мин, а пропускная способность выросла на 200 %, что позволило обслуживать в три раза больше операций при том же объеме аппаратных ресурсов. Внедрение NeuroVision также привело к снижению доли мошенничества с 5 % до 2 %, что эквивалентно сокращению потерь на 60 % при годовом объеме заявок в 500 млн руб. Экономическая модель показала возврат инвестиций (*ROI*) на уровне 50 % и период окупаемости (*PP*) 8 месяцев. Для комплексной оценки интеграции был использован индекс *CIEI*, значение которого возросло с 0,927 до 1,169, что на 16,9 % превышает среднеотраслевые показатели. Одновременно клиенты стали быстрее завершать операции: среднее время от подачи заявки до решения (*TTA*) сократилось с 24,0 мин до 6,5 мин, доля завершивших заявку пользователей (*CTC*) выросла на 28,5 п.п., а уровень отказов (*SAR*) снизился на 11,5 пункта.

Данные результаты подтверждают высокую техническую, экономическую и пользовательскую эффективность NeuroVision. В дальнейшем планируется расширить функциональность системы за счет мультибиометрической аутентификации, повысить устойчивость алгоритмов к изменчивым условиям съемки и провести долгосрочный мониторинг влияния технологии на удовлетворенность клиентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлова Е.В., Кулакова Ю.В. Перспективы развития нейросетевых технологий в условиях цифровизации экономики // Экономика и качество систем связи. – 2024. – № 1. – С. 10–17.
2. Fraud.com. Системы распознавания лиц: новый подход к борьбе с мошенничеством / Fraud.com. – 2024. – Текст: электронный. – Режим доступа: <https://www.fraud.com/post/facial-recognition-systems>
3. Ушмаев О.С., Босов А.В. Реализация концепции многофакторной биометрической идентификации в интегрированных аналитических системах // Системы высокой доступности. – 2007. – Т. 3, № 4. – С. 13–23.
4. Беспалов Д.А., Богатырева М.В. Роль искусственного интеллекта в финансовом секторе // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2023. № 7 (ч. 1). – С. 10–16.

5. Шикина В.Е., Ефимова И.А. Биометрическое распознавание образов: обзор // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2023. № 3 (103). С. 16–23.
6. NeuroVision. Распознавание лиц в банковском секторе / NeuroVision. – 2025. – Текст: электронный. – Режим доступа: <https://neuro-vision.ru/en/solutions/banking/>.
7. Rakesh. Построение REST API для распознавания лиц: использование на мобильных, веб- и IoT-устройствах / Rakesh. – 2021. – Текст: электронный. – Режим доступа: https://medium.com/@rakesh_openai/build-face-recognition-as-a-rest-api-use-it-from-mobile-web-iot-etc-981c627cf15a.
8. Unit21. Биометрическая верификация: применение для предотвращения мошенничества / Unit21. – Текст: электронный. – Режим доступа: <https://www.unit21.ai/fraud-aml-dictionary/biometric-verification>.
9. Дай, Элис. Системный дизайн: система обработки видео / Элис Дай. – 2024. – Текст: электронный. – Режим доступа: <https://medium.com/@qingedag/system-design-video-processing-system-3742af267ba5>.

© А. В. Шуверов, Е. А. Усанькова, 2025

В. К. Голубцов^{1✉}, М. М. Шляхова¹

Разработка нейросетевой модели для автоматической классификации объектов на основе данных лазерного сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vladgolubcov90@gmail.com

Аннотация. В статье описан процесс проектирования и обучения нейросетевой модели для автоматической классификации объектов городской среды на основе данных лазерного сканирования (LiDAR). Основное внимание уделяется этапам подготовки данных, выбора оптимальной архитектуры модели, ее обучения и оценки эффективности. Особое значение придается классификации элементов рельефа и различных урбанистических объектов, включая здания и транспортные средства. Авторы рассматривают методы предварительной обработки данных такие, как фильтрация, нормализация и аугментация, которые способствуют улучшению качества обучения модели и повышению ее устойчивости к вариациям входных данных. Проводится сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей, что позволяет определить наиболее подходящую архитектуру для решения задачи классификации.

Ключевые слова: лазерное сканирование, LiDAR, нейросетевые модели, классификация объектов, городская среда, машинное обучение

V. K. Golubtsov^{1✉}, M. M. Shlyakhova¹

Development of a neural network model for automatic object classification based on LiDAR data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vladgolubcov90@gmail.com

Abstract. The article provides a detailed description of the process for designing and training a neural network model to automatically classify urban objects based on laser scanning data (LiDAR). The main focus is on the stages of data preparation, selecting the optimal model architecture, training, and evaluating its effectiveness. Particular importance is attached to the classification of terrain elements and various urban objects, including buildings and vehicles. The authors examine methods of preprocessing data, such as filtering, normalization, and augmentation, which help improve the quality of model training and increase its resistance to variations in input data. A comparative analysis of several neural network architectures is presented, enabling the identification of the most suitable approach for solving the classification task.

Keywords: laser scanning, LiDAR, neural network models, object classification, urban environment, machine learning

Введение

Современные города сталкиваются с необходимостью эффективного мониторинга и управления городской инфраструктурой. Технологии лазерного ска-

нирования (LiDAR) предоставляют высокоточные трехмерные данные, позволяющие детально анализировать элементы городской среды. Однако объем и сложность таких данных требуют автоматизированных методов обработки и классификации. Применение нейросетевых моделей в задачах классификации объектов на основе данных LiDAR становится все более актуальным, обеспечивая высокую точность и скорость обработки информации [1].

Целью данного исследования является разработка нейросетевой модели, способной автоматически классифицировать объекты городской среды, включая элементы рельефа, здания и транспортные средства, на основе данных лазерного сканирования. Предполагается, что такая модель будет способствовать улучшению процессов городского планирования, мониторинга и управления инфраструктурой.

Методы и технологии

Для обучения и тестирования нейросетевой модели был сформирован синтетический датасет, смоделированный на основе открытых LiDAR-наборов (в частности, Toronto-3D, Semantic3D, DublinCity), с последующей генерацией псевдослучайных 3D-сцен в городской среде с использованием программного обеспечения Blender + BlenderGIS и библиотек Open3D и PDAL для генерации облаков точек. Для создания виртуальных урбанистических окружений использовался 3D-редактор Blender [2]. С помощью плагина BlenderGIS воссоздавались рельеф и городская инфраструктура по реальным геоданным (например, данным DEM или OpenStreetMap) [3]. Для моделирования работы лидара применялись специализированные аддоны, такие как BlenSor и BLAINDER, которые позволяют эмулировать сканирование сцены лазером и генерировать синтетические облака точек с известной семантикой объектов. Это давало полный контроль над разметкой данных и позволило формировать сбалансированные выборки по классам.

Предварительная обработка LiDAR-облаков выполнялась с помощью PDAL (Point Data Abstraction Library), которая предоставляла средства для фильтрации, трансформации, нормализации координат, удаления шумов и перевода данных в удобные форматы (PCD, PLY). Конвейерная архитектура PDAL обеспечивала автоматизацию этапов препроцессинга и их интеграцию в пайплайн машинного обучения [4]. Работа с облаками точек на этапе обучения производилась на базе библиотеки Open3D, предоставляющей высокоэффективные структуры и GPU-ускоренные алгоритмы, включая визуализацию, сегментацию, кластеризацию и интерфейс для интеграции с PyTorch и TensorFlow. Использовался проект Open3D PointNet++, адаптирующий архитектуру PointNet++ под задачи семантической сегментации LiDAR-облаков [4, 5].

Итоговый датасет содержал 1,2 млн 3D-точек, размеченных по следующим семи классам: здания, дороги, тротуары, транспортные средства, деревья, малая архитектура (лавки, урны и т. п.), рельеф (естественные формы). Каждая точка в облаке представляла собой вектор признаков, включающий пространственные координаты (X , Y , Z), интенсивность отраженного лазерного сигнала, нормали

поверхности (на основе локального соседства из 10 ближайших точек) и относительную высоту над уровнем земли.

Для повышения устойчивости модели к переобучению применялась стратегия аугментации: случайное вращение сцены вокруг оси Z, масштабирование в диапазоне от 0,9 до 1,1, добавление гауссова шума в координаты точек (дисперсия примерно 0,01 м).

Выбранная нейросетевая архитектура PointNet++ представляет собой иерархическую модель, расширяющую оригинальный PointNet за счет извлечения локальных признаков на различных масштабах. Точки группируются в локальные окрестности, для которых обучаются локальные представления, агрегируемые на более высоком уровне. Такая структура позволяет захватывать детальные особенности объектов и сохраняет точность при варьировании плотности облаков. При уменьшении числа точек с 1024 до 256 точность падает менее чем на 1 %. В дополнение к PointNet++ были реализованы и протестированы архитектуры PointCNN и KPConv. Последняя проявила лучшие результаты при детальной сегментации сложных объектов.

Обучение модели проводилось в фреймворке PyTorch на GPU NVIDIA RTX 3060 с 12 Гбайт памяти и CPU Ryzen 7 5800X. Конфигурация включала размер батча 32 200 эпох, начальный learning rate 0,001. Сцены разбивались на патчи 40×40 м, из которых выбирались подвыборки по 4096 точек. Использовался оптимизатор Adam с decay, функция потерь – кросс-энтропия, дополненная фокальным коэффициентом для борьбы с дисбалансом классов.

Для валидации использовалась отложенная часть данных (20 %). Метрики оценки включали Accuracy, Recall, Precision, F1-меру, а также среднее значение метрики IoU по классам. Сохранялась модель с наилучшим значением IoU. В табл. 1 представлены результаты оценки модели.

Таблица 1

Результаты оценки модели

Метрика	Значение
Общие показатели	
Accuracy	92,3 %
Precision	89,8 %
Recall	91,6 %
F1-score	0,90
IoU (среднее по классам)	0,81
IoU по отдельным классам	
Здания	0,94
Дороги	0,89
Машины	0,82
Деревья	0,78
Малая архитектура	0,63

Результаты

Разработанная модель продемонстрировала высокую эффективность в задаче семантической классификации объектов городской среды на основе лазерного сканирования. Средняя точность классификации достигла 92 %, а значение F1-меры составило 0,89, что свидетельствует о сбалансированной производительности модели в терминах как полноты, так и точности. Наиболее хорошие результаты были получены при распознавании крупных и структурно выраженных объектов, таких как здания и дорожное покрытие, где точность сегментации превышала 95 %. Подобная эффективность обусловлена, с одной стороны, высокой плотностью точек в этих зонах, а с другой – ярко выраженными геометрическими характеристиками данных объектов.

При классификации менее выраженных или редких классов таких как дорожные знаки, скамейки и малая архитектура, наблюдалось снижение точности до 80–85 %. Это объясняется как ограниченным представлением этих объектов в обучающем датасете, так и их малой геометрической контрастностью в облаке точек. Несмотря на это, модель демонстрировала уверенное различение классов даже при добавлении шума или уменьшении плотности данных, что подчеркивает ее устойчивость и обобщающую способность.

В рамках сравнительного анализа архитектур PointNet++, KPConv и PointCNN наилучший баланс между точностью и вычислительной эффективностью показала именно PointNet++. Она демонстрировала высокую способность к генерализации и сохраняла стабильность при обработке больших объемов данных. Архитектура KPConv показала более высокую чувствительность к мелким и сложным объектам за счет использования сверточных операций по геометрии, что делает ее перспективной для задач точной локальной сегментации. PointCNN показал умеренные результаты, уступая в производительности и точности двум другим архитектурам.

Таким образом, выбранная в работе архитектура PointNet++ представляет собой рациональный компромисс между сложностью модели, универсальностью и качеством предсказаний. Дальнейшие исследования могут быть направлены на гибридизацию моделей и адаптацию архитектуры под особенности конкретных сцен или задач.

Заключение

В рамках работы была разработана и протестирована нейросетевая модель на архитектуре PointNet++ для автоматической семантической сегментации объектов городской среды на основе LiDAR-облаков. Проведены эксперименты на синтетическом датасете, подтверждена высокая точность классификации и устойчивость к шумам и снижению плотности. Использовались библиотеки Open3D и PDAL, сцены моделировались в Blender с использованием BlenSor и BLAINDER. Модель реализована в PyTorch и обучалась на GPU RTX 3060.

PointNet++ продемонстрировал высокую точность и способность извлекать признаки на разных масштабах. Предложенный подход подтверждает перспек-

тивность глубокого обучения для LiDAR-анализов. Возможные направления дальнейшей работы включают:

- интеграцию модели в ГИС-системы (например, QGIS/ArcGIS) для поддержки мониторинга городской среды и автоматической актуализации карт;
- расширение спектра классов (мебель, транспорт, растительность) и комбинирование с другими источниками данных (оптика, радар);
- масштабирование через облачные платформы (AWS, Azure, GCP) для ускоренной обработки больших объемов данных;
- исследование новых архитектур (PointNeXt, Point Transformer) и оптимизаций (квантование, ускорение инференции).

Таким образом, предложенный подход показал высокую применимость в задачах сегментации и может служить основой для интеллектуальных систем анализа городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников А. А. Анализ методов и средств искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных активного дистанционного зондирования / А. А. Колесников // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 74-94.
2. Тараховский А. Ю. Трехмерное моделирование объекта на основе данных лазерного 3D сканирования / А. Ю. Тараховский // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2023. – № 14. – С. 16-19.
3. Шихов, А. Н. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа : Учебное пособие / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, С. В. Пьянков. – Пермь : Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского университета, 2017. – 88 с.
4. Алтынцев М. А. , Геращенко Г.Д. Применение современных алгоритмов обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров / М. А. Алтынцев, Г. Д. Геращенко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 22-30.
5. Алтынцева М. А. Автоматизированная сегментация и классификация данных мобильного лазерного сканирования для векторизации контурной части топографического плана городской территории / М. А. Алтынцева, А. В. Комиссаров, М. А. Алтынцев // Вестник СГУГиТ – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 32-43.
6. Регистрация облаков точек в трехмерном пространстве с использованием мягкого соответствия / А. Ю. Маковецкий, В. И. Кобер, С. М. Воронин [и др.] // Информационные процессы. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 105-117.

© В. К. Голубцов, М. М. Шляхова, 2025

Е. С. Мишечкин¹✉, М. П. Егоренко¹, Н. А. Гурин^{2,3}

Совершенствование технологии глубокого шлифования оптических деталей: анализ параметров и пути оптимизации

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский приборостроительный завод, г. Новосибирск, Российская Федерация

³Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: mishechkines@mail.ru

Аннотация. Данная работа представляет собой исследование в сфере обработки оптических деталей. В работе проведен анализ технологических процессов глубокого шлифования оптических деталей с акцентом на повышение точности геометрической формы и снижение шероховатости поверхности. На основании изучения научной, технической и технологической литературы за последние пятьдесят лет проанализированы существующие методы шлифования оптических деталей. Описаны преимущества метода глубокого шлифования оптических деталей. Исследовано влияние абразивных материалов (алмаз, корунд, нитрид бора) и режимов обработки (скорость вращения, давление) на качество поверхности. Разработаны рекомендации по минимизации дефектов и повышению производительности. Результаты исследований показывают, что использование алмазных абразивов снижает шероховатость оптических поверхностей на 20 % по сравнению с применением корундов. Предложены пути интеграции автоматизированных систем контроля для улучшения стабильности технологических процессов.

Ключевые слова: глубокое шлифование, оптические детали, абразивные материалы, шероховатость, ЧПУ

E. S. Mishechkin¹✉, M. P. Egorenko¹, N. A. Gurin^{2,3}

Improving the technology of deep grinding of optical parts: parameter analysis and optimization paths

¹Siberian State University of Geosystems and Technology, Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk Instrument-Making Plant, Novosibirsk, Russian Federation

³Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: mishechkines@mail.ru

Abstract. This paper is a study in the field of optical parts processing. The paper analyzes the technological processes of deep grinding of optical parts with an emphasis on increasing the accuracy of the geometric shape and reducing the surface roughness. The existing methods of grinding optical parts are analyzed using scientific, technical and technological literature over the past fifty years. The advantages of the method of deep grinding of optical parts are described. The effect of abrasive materials (diamond, corundum, boron nitride) and processing modes (rotation speed, pressure) on the surface quality is studied. Recommendations for minimizing defects and increasing productivity are developed. The results show that the use of diamond abrasives reduces the roughness of optical sur-

faces by 20 % compared to the use of corundum. The ways of integrating automated control systems to improve the stability of technological processes are proposed.

Keywords: deep grinding, optical parts, abrasives, roughness, CNC

Введение

Современные оптические системы требуют деталей с нанометрической точностью формы и минимальной шероховатостью оптических поверхностей. Глубокое шлифование, как ключевой этап обработки, сталкивается с проблемами, такими как неоднородность свойств материала, высокая глубина нарушенного слоя и низкая производительность [1,2]. Традиционные методы с использованием свободного абразива обеспечивают ограниченную точность, что делает актуальным поиск новых решений. Целью исследования является анализ влияния технологических параметров на качество глубокого шлифования и разработка рекомендаций по оптимизации технологического процесса.

В рамках подготовки научной статьи была выполнена систематизация и анализ информации, относящейся к процессам глубокого шлифования оптических деталей.

Материалы и методы

В качестве экспериментальной установки использовалась установка производство АО Новосибирский приборостроительный завод.

Работа осуществлялась на шлифовальном станке, оснащённом алмазным, корундовым и нитрид-бориевым инструментом [3].

В качестве обрабатываемых материалов выбраны: оптическое стекло (марка К8), кварц, германий.

Параметры обработки определены в соответствии с рекомендациями, содержащимися в источниках:

- скорость вращения шпинделя: от 50 до 150 об/мин;
- давление поводка: от 60 до 100 кг;
- подача инструмента: от 0,5 до 5 мм/мин.

Методы оценки:

- профилометрия. Измерение шероховатости (Ra) с помощью прибора Mahr Surf LD260п;
- микроскопия. Анализ микротрещин и нарушенного слоя с использованием микроскопа.

Результаты

Сравнение абразивных материалов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Влияние абразива на параметры обработки

Абразивный материал	Твердость, ГПа	Характеристики	
		Шероховатость оптической поверхности, Ra , нм	Глубина нарушенного слоя, мкм
Алмаз	100	15 ± 2	$2,5 \pm 0,3$
Корунд	20	25 ± 3	$5,0 \pm 0,5$
Нитрид бора	45	20 ± 2	$3,5 \pm 0,4$

На рис. 1. представлена зависимость изменения шероховатости поверхности оптической детали от скорости вращения шпинделя.

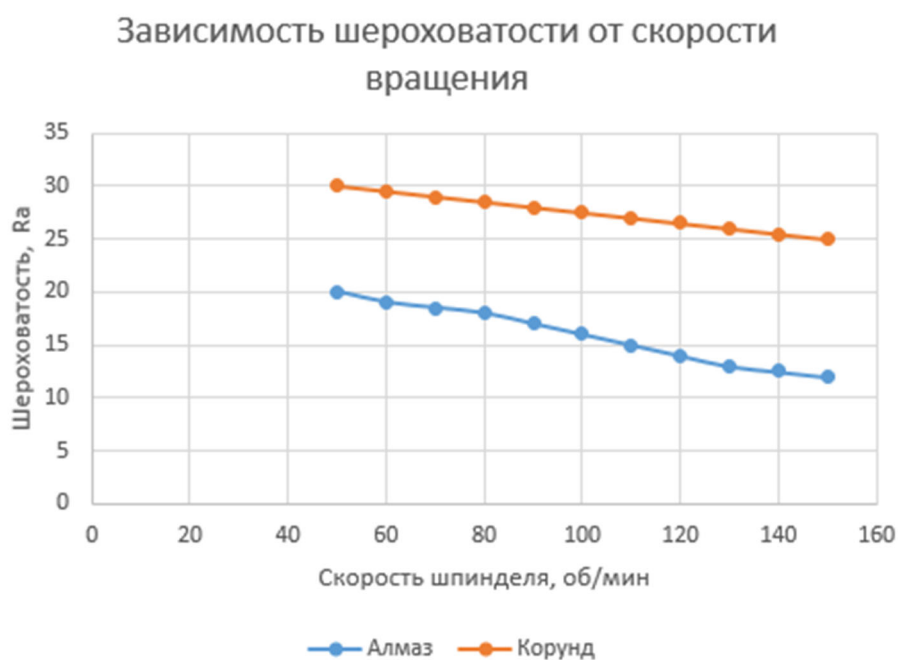


Рис. 1. Шероховатость поверхности оптических деталей при различных скоростях вращения шпинделя

На рис. 2. представлена зависимость изменения глубины нарушенного слоя поверхности оптической детали от давления поводка.

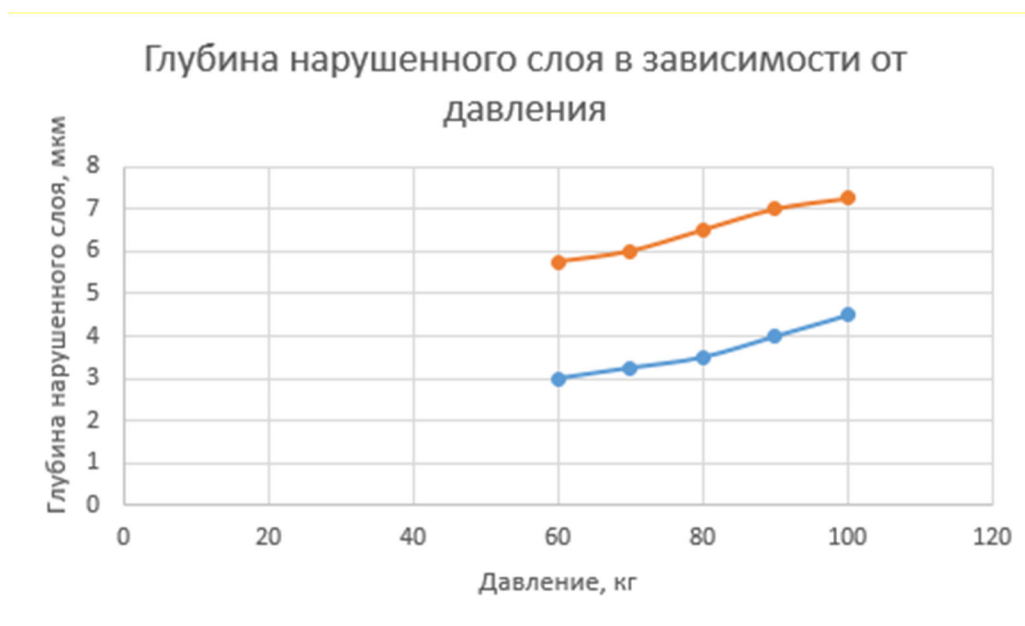


Рис. 2. Глубина нарушенного слоя поверхности оптической детали в зависимости от давления

Обзор преимуществ глубокого шлифования оптических деталей

Основные особенности глубокого шлифования оптических деталей:

- точность. Основная цель работы – получить поверхности с высокой степенью точности (с микрометрической или наноуровневой погрешностью) [4, 5], что критично для качества изображения в оптических системах, например, в телескопах, военных оптических приборах и лазерах;

- используемые материалы. Для шлифования оптических деталей обычно применяют абразивы с очень высокой твердостью, такие как алмаз, корунд или кубический нитрид бора [6], чтобы эффективно обрабатывать твердые и хрупкие материалы, из которых изготавливаются оптические элементы (стекло, кварц, керамика);

- процесс. Глубокое шлифование включает в себя применение абразивного инструмента (шлифовальный круг или диск), который движется по поверхности детали с высокой скоростью. Параметры, такие как скорость вращения круга, давление и подача, тщательно регулируются для минимизации повреждений и обеспечения нужной формы [7];

- технология и оборудование. Глубокое шлифование часто проводится на специализированных машинах, таких как шлифовальные станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Эти станки могут точно контролировать движение инструмента и детали, что позволяет получать поверхности с нужными параметрами;

- качество поверхности. Важным аспектом является качество поверхности после шлифования. Для оптических деталей критичными являются микрповреждения, такие как микротрещины или царапины, которые могут ухудшить их оп-

тические свойства. Поэтому процесс шлифования требует очень точного контроля [8, 9];

– применение. После шлифования детали часто подвергаются дополнительной обработке, например, полировке, чтобы улучшить оптические характеристики [10], особенно для компонентов, которые работают с лазерными лучами или световыми волнами, требующими высокой точности.

Шлифование – это обработка оптических деталей металлическим инструментом с помощью шлифовального порошка, который диспергирует верхний слой стекла, превращая его в трещеноватый. Глубокое шлифование позволяет уменьшить трещеноватый слой за счет определенной последовательности и большей величины съема припуска. Традиционное шлифование оптических деталей – быстрый процесс с небольшой глубиной резания, использующий различные абразивы и обеспечивающий качество поверхности меньшее, чем при глубоком, подходящий для широкого спектра материалов. В отличие от него, глубокое шлифование более медленный метод с большой глубиной резания, требующий прецизионного оборудования и алмазных абразивов, лучше подходящий для твердых и хрупких материалов, но с повышенным риском термического повреждения и, возможно, требующий более длительной полировки для достижения высокого качества поверхности.

Сравнение глубокого шлифования с традиционными технологиями шлифования происходило, опираясь на данные, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Влияние абразива на параметры обработки

Параметр	Глубокое шлифование [8]	Традиционное шлифование [2]
Шероховатость (Ra)	от 15 до 25 нм	от 30 до 50 нм
Точность формы	± 1 мкм	± 5 мкм
Производительность	8 деталей/час	5 деталей/час

Исходя из данных, приведенных в табл. 2, следует сделать вывод: глубокое шлифование обеспечивает меньшую шероховатость, меньшее отклонение от формы, а также большую производительность в отличие от метода традиционного шлифования.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило эффективность глубокого шлифования с применением алмазных абразивов и высокоскоростных режимов обработки. Оптимизация технологических параметров позволяет достичь шероховатости Ra , равной 15 нм, и погрешности формы ± 1 мкм. Для дальнейшего развития технологии целесообразно интегрировать системы машинного обучения для адаптивной коррекции режимов обработки.

Так же выявлены ключевые факторы качества:

- использование алмазных абразивов снижает Ra на 20 % и глубину нарушенного слоя на 50 % по сравнению с корундом;
- высокая скорость вращения минимизирует микродефекты за счет равномерного распределения нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобков А.В., Разработка технологии обработки металлических деталей для оптического приборостроения связанным алмазно-абразивным инструментом [Электронный ресурс] / Естественные и технические науки. 2007. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15860831> – Загл. с экрана.
2. Zebin Xia Advances in polishing of optical freeform surfaces / Zebin Xia, Fengzhou Fang, Eamonn Ahearne, Moran Tao – Journal of Materials Processing Tech, 2020. – 54 с.
3. Кондратенко В.С., Сакуненко Ю.И., Кобыш А.Н., Бурляй Д.А., Стыран В.В. Разработка оборудования и оснастки для изготовления алмазно-абразивных элементов на основе теплопроводных полимерных композитов// Сборник научных трудов МНТК ИВТ-2015. С. 79-81.
4. Theoretical modelling and analysis of the material removal characteristics in fluid jet polishing / Zhong-Chen Cao, Chi Fai Cheung // International Journal of Mechanical Sciences. – 2014. – С. 158 – 166.
5. Precision treatment of silicon wafer edge utilizing ultrasonically assisted polishing technique / N. Kobayashi, Y. Wu, M. Nomura, T. Sato // Journal of Materials Processing Tech, 2008. – С. 531-535.
6. Кондратенко В.С., Гиндин П.Д., Бурляй Д.А., Кобыш А.Н., Рогов А.Ю., Кондратенко Е.В., Сакуненко Ю.И., Бобков А.В. Новый алмазный инструмент для обработки оптических материалов // «Оптический журнал». Том 84. № 6. 2017. – С. 54-57.
7. Кондратенко В.С., Кобыш А.Н., Рогов А.Ю. Шлифовка и полировка по-новому//«Ритм». № 1. 2015. Москва. С. 34-40.
8. ОСТ 3-6043-86 Заготовки оптических деталей. Припуски на обработку глубоким шлифованием и глубоким полированием [Текст]: нац. стандарт РФ. – Введ. 01-01-1987. – Утвержден и введен в действие инструктивным письмом от 05.02.1986. – 9 с.
9. Канушина Л.А., *Обеспечение качества поверхностей оптических деталей путем регулирования теплового состояния зоны обработки при шлифовании алмазно-абразивным инструментом*: Канушина Л.А., Соснов А.Н., Соснова Н.К. Журнал Интерэкспо Гео-Сибирь, 2012.
10. Кондратенко В.С., Кобыш Н.И., Кобыш А.Н. Композиция для связанного полировального инструмента // Патент РФ № 2526982. 2013.

© Е. С. Мишечкин, М. П. Егоренко, Н. А. Гурин, 2025

Р. М. Новиков^{1✉}, Д. Н. Титов¹

Сравнение эффективности алгоритмов нейросетевого анализа дефектов с применением оптической системы в контроле качества поверхности патронов

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: romanov7@live.ru¹

Аннотация. Статья посвящена разработке подхода к автоматическому обнаружению дефектов на корпусах гильз с помощью сверточного автокодировщика (CAE). Актуальность задачи определяется необходимостью оперативного и точного контроля качества в современных условиях промышленной автоматизации: выявления царапин, вмятин и микротрещин. В статье описана архитектура CAE, адаптированная под ограниченный объём обучающих данных, и проведён анализ влияния параметров съёмки (разрешения, фокусного расстояния), конфигурации освещения и нормировки яркости на качество детекции. Эксперименты выполнены в двух режимах: статическом (обработка заранее подготовленных изображений) и динамическом (в реальном времени). Проведённый анализ позволил выявить слабые стороны модели, намечены пути дальнейшей доработки.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, сверточные нейронные сети, машинное зрение, глубокое обучение, повышение качества

R. M. Novikov^{1✉}, D. N. Titov¹

Comparison of Efficiency of algorithms of neural network analysis of defects with the use of optical system in controlling the quality of the surface of cartridge casings

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: romanov7@live.ru¹

Abstract. The paper presents an approach for automatic defect detection on cartridge casings using a convolutional autoencoder (CAE). The need for timely and accurate quality control in modern industrial automation—specifically the identification of scratches, dents, and microcracks - drives the relevance of this work. We describe a CAE architecture adapted to a limited training dataset and analyze the impact of imaging parameters (resolution, focal length), lightening configuration, and brightness normalization on detection performance. Experiments were conducted in two modes: static (processing of pre-acquired images) and dynamic (in real-time). The analysis revealed weaknesses in the current model that must be addressed in future refinements.

Keywords: Artificial intelligence, convolutional neural networks, machine vision, deep learning, quality improvement

Введение

В условиях современной промышленной автоматизации обнаружение дефектов на поверхностях металлических изделий приобретает все большую актуальность. В частности, контроль качества патронов (гильз) требует высокой точ-

ности и скорости обработки изображений, чтобы вовремя выявлять царапины, вмятины и микротрещины. В этой статье рассматривается применение сверточного автокодировщика (Convolutional Autoencoders, CAE) для задачи аномальной детекции на корпусах гильз [1], проводится анализ влияния параметров съёмки, освещения и нормировки яркости. Рассматриваются встречающиеся в процессе обработки проблемы применения сверточных автокодировщиков в условиях малого количества входных данных [2].

Методы и методики исследования

Модель сверточного автокодировщика будет обучаться в условиях малого количества данных, 48 фотографий «чистых» гильз без дефектов, на их основе выявлять аномалии на новых кадрах [3]. Эффективность метода будет оцениваться как на заранее подготовленном наборе изображений (далее – статический метод), так и в реальном времени при захвате видеопотока с камеры (далее – динамический метод).

Блок-схема используемой установки для контроля качества гильз изображена на рис. 1.

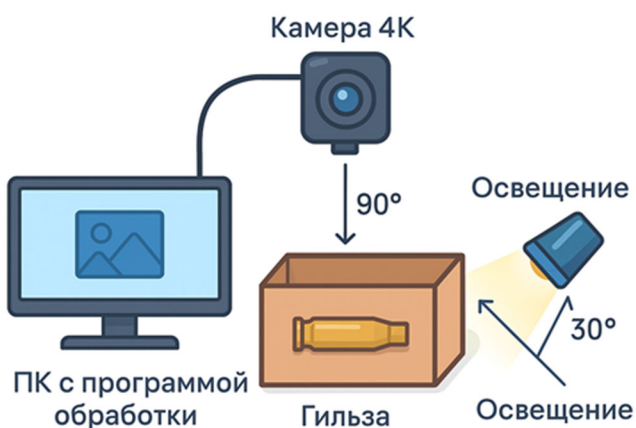


Рис. 1. Блок-схема установки для контроля качества гильз

Сенсор и оптика главной камеры:

- матричный сенсор 64 МП, размер 1/2,0";
- эффективный размер пикселя: 0,7 μm (одиночный) $\rightarrow$ 1,4 μm (4-в-1 агрегирование);
- диафрагма $f/1,79$ ($\approx f/1,8$), фазовый автофокус (PDAF);
- выдержка 1/125 s;
- ISO 50;
- цветовая температура светодиодного кольца 4996 K;
- видео возможности 4K (3840×2160) 30 кадров/с;
- угол наклона камеры фиксируется вертикально 0°.

Возможные конфигурации освещения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние угла падения освещения на визуализацию дефектов поверхности

Угол падения света (от нормали)	Описание конфигурации освещения	Влияние на видимость дефектов
0°	Освещение вертикальное	Выявляются крупные дефекты: глубокие царапины, сколы. Характерно наличие пересвеченных областей.
30–45°	Освещение под углом сверху	Хорошо визуализируются крупные дефекты: царапины, сколы. Уровень засветов умеренный.
90°	Освещение в горизонтальной плоскости	Подчёркиваются мелкие дефекты: пыль, микрочастицы, мелкие царапины. Засветы практически отсутствуют.

Освещение влияет на яркость и контрастность изображения, а так же на наличие бликов, поэтому оно должно быть статичным [4]. В дальнейшем в работе используем вертикальное освещение под углом 30°.

Алгоритм 1. Статическая детекция

Разработанная архитектура автоэнкодера предназначена для обработки наборов изображений, приведенных к квадратной форме. Архитектура обучения сети приведена в схеме на рис. 2 [5].

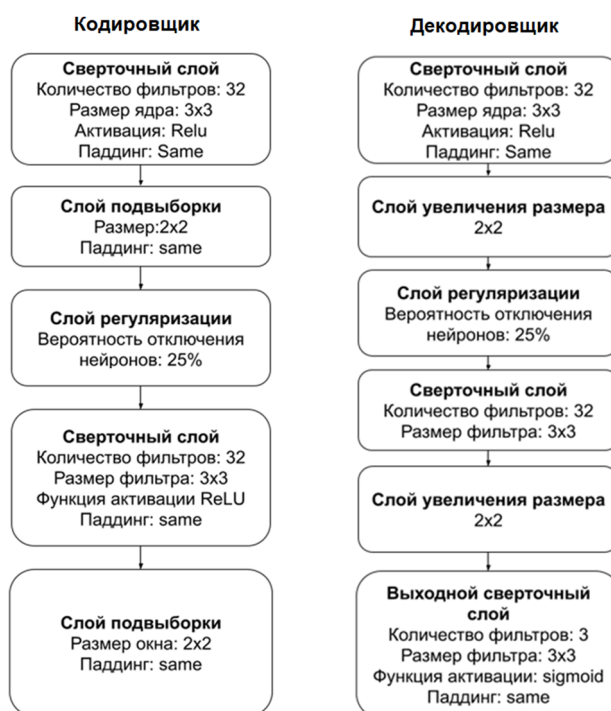


Рис. 2. Архитектура автоэнкодера

Результатом работы одного полного цикла является восстановленное изображение с размерами $960 \times 960 \times 3$.

Алгоритм системы: полный кадр $3840 \times 2160 \rightarrow$ обрезка области интереса (ROI) $1552 \times 450 \rightarrow$ нормализация $\rightarrow$ вывод результата $\rightarrow$ расчёт ошибки реконструкции $\rightarrow$ сравнение с порогом $\rightarrow$ при превышении порога — фиксация дефекта.

При изменении размеров в квадратную форму фактически искажается область корпуса гильзы, повышая относительную плотность пикселей на дефектах. В то же время алгоритмы изменения размера влияют на цвет, монотонность, линейность и структурную целостность данных, особенно при переходе между нестандартными (например, 1552×448) и квадратными (960×960) форматами [6].

При уменьшении изображения с 1552×448 до 960×960 при бикубическом методе наблюдается стандартное отклонение цветовых каналов на 12–18%, что свидетельствует о потере цветового разнообразия. Это приводит к потере деталей, появляются артефакты цветопередачи, различия в освещении между кадрами усложняют задачи машинного обучения и компьютерного зрения.

Нормализация яркости решает эти проблемы путём:

- приведения гистограммы яркости к заданному диапазону;
- коррекции экспозиции для сохранения деталей в тенях и светах;
- устранения шумов, связанных с неравномерным освещением.

Схема используемого алгоритма нормализации показана на рис. 3 [7].



Рис. 3. – Схема нормализации

На рис. 4 представлен результат работы алгоритма нормализации, где яркость одного снимка искусственно занижена.

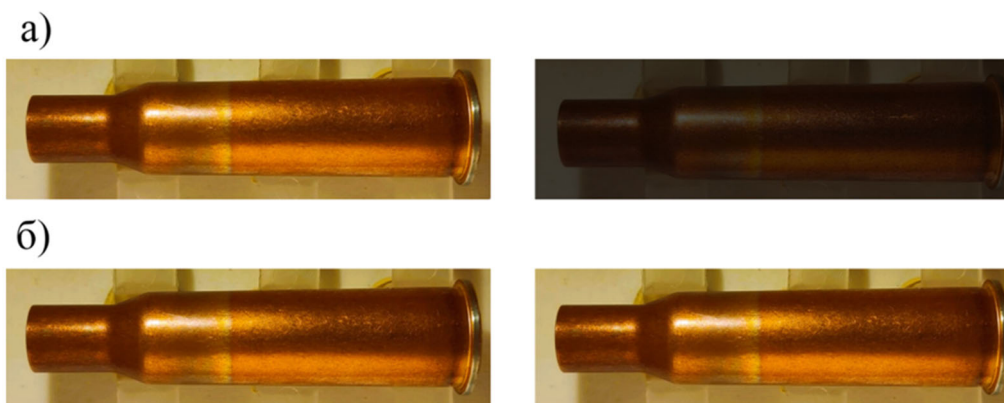


Рис. 4. а) до нормализации, б) после нормализации

Финальные результаты реконструкции, а также примеры первых четырёх патронов из выборки приведены на рис. 5. В верхнем ряду отображены исходные изображения, в нижнем – соответствующие им реконструкции, полученные моделью [8].

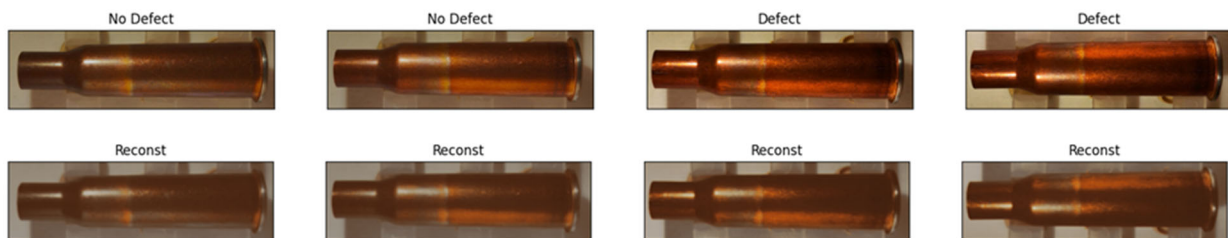


Рис. 5. Демонстрация реконструкции автоэнкодера

Ниже приведены значения ошибки реконструкции для каждого изображения:

Image 1: No Defect (Reconstruction Error: 0.0528) – Изображение 1: Без дефекта (Реконструированная ошибка: 0.0528)

Image 2: No Defect (Reconstruction Error: 0.0540) – Изображение 2: Без дефекта (Реконструированная ошибка: 0.0540)

Image 3: Defect (Reconstruction Error: 0.0733) – Изображение 3: С дефектом (Реконструированная ошибка: 0.0733)

Image 4: Defect (Reconstruction Error: 0.0747) – Изображение 4: С дефектом (Реконструированная ошибка: 0.0747)

Алгоритм 2. Динамическая детекция с камеры

При обучении алгоритма динамической детекции использовалась та же модель автоэнкодера, ориентированная на обработку видеок кадров в реальном времени. При съёмке в реальном времени необходимо отключать автоматический подбор яркости, автофокусировку и автоматическую контрастность используемой камеры. Для динамики нужно чётко выбирать разрешение, так как обработка происходит в реальном времени. Операции сжатия изображения уменьшают время на пост-обработку, но нужно, чтобы это уменьшение было эффективнее, чем время на совершение операций сжатия [9].

Для уменьшения влияния положения патрона в кадре на результаты работы модели использовалась аугментация данных, в частности параметр `rotation_range=20`, который задаёт случайные повороты изображения в пределах 20 градусов. Это позволило модели обучаться на изображениях с различными ориентациями объекта, делая её инвариантной к небольшим поворотам. Дополнительно, параметры сдвига (`width_shift_range` и `height_shift_range`) и отражения (`horizontal_flip`) способствовали снижению зависимости от фиксированного положения патрона, что улучшило обобщающую способность модели.

Для дополнительной обработки изображений могут применяться спектральные фильтры, позволяющие выделять контуры объектов и выявлять области засветов. Выделение контуров может быть особенно полезным при работе на конвейере, например, для разделения патронов между собой.

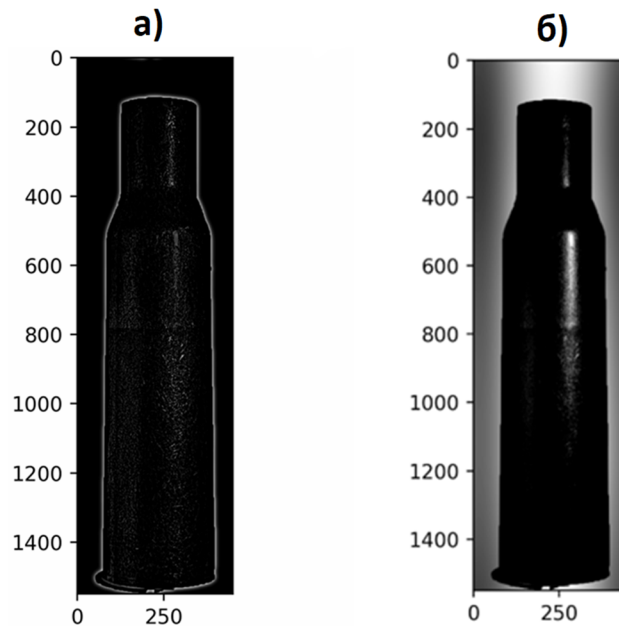


Рис. 6. а) фильтр нижних частот, б) фильтр верхних частот

Демонстрация работы алгоритма реконструкции с использованием данных с камеры представлена на рис. 7. В верхней части изображён исходный образец, ниже – реконструкция, сформированная автоэнкодером.

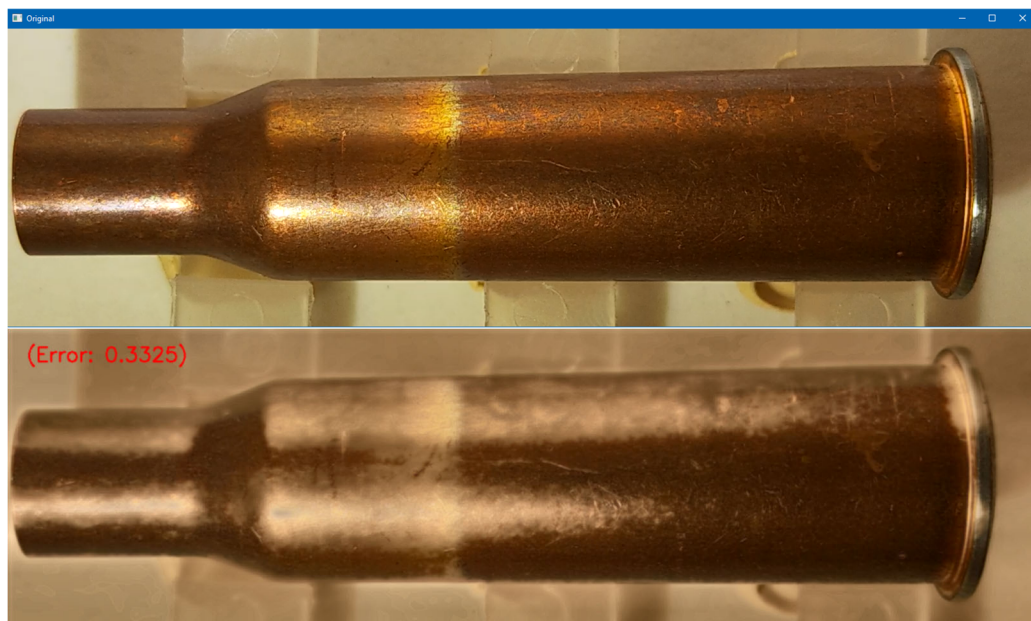


Рис. 7. Вывод реконструкции с камеры

Результаты и обсуждение

Результаты работы всех алгоритмов и сравнение результатов приведены в табл. 2. Представлена усредненная ошибка реконструкции для разной яркости нормализации в статике и в динамике.

Таблица 2

Исходные данные		Яркость нормализации, относительные единицы				
Измерение	Гильза	20	60	80	100	120
Статика	Целая	0,0187	0,05265	0,0322	0,0457	0,0534
	Дефект	0,0190	0,05825	0,0485	0,0691	0,0740
Динамика	Целая	0,0274	0,1752	0,1729	0,3325	0,3285
	Дефект	0,0286	0,1814	0,1733	0,3288	0,3373

Усреднённая ошибка реконструкции при разных яркостях и контрасте 20

При изменении условий освещения требуется дополнительное обучение модели, поскольку она проявляет высокую чувствительность к вариациям теней на поверхности объектов.

В текущей модели наблюдаются ложные срабатывания на шероховатости поверхности корпуса и разные вариации цвета гильз, как показано на рис. 8, что связано с ограниченным объемом обучающих данных. В обучающей выборке отсутствуют патроны с различающимся цветом корпуса.

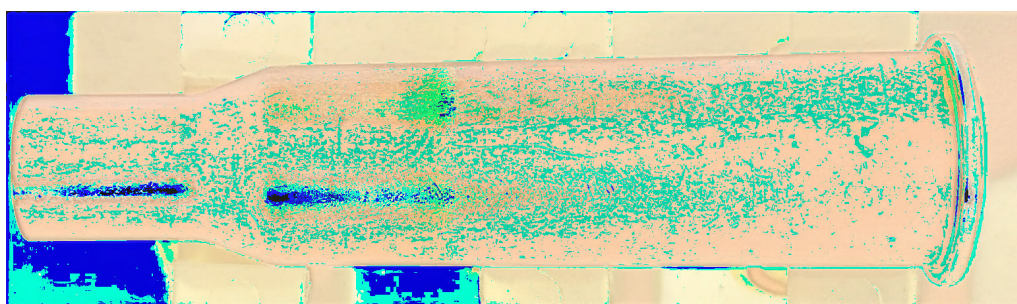


Рисунок 8 – Тепловая карта ошибки реконструкции

Так же при неглубоком слое «растянутый» вход (как 1552×448) может давать слишком узкое покрытие по вертикали, снижая чувствительность к дефектам, ориентированным «вширь», при этом модель крайне чувствительна к освещению и бликам [10]. Модель дает незначительную уверенность.

Заключение

В ходе настоящего исследования был разработан подход на базе сверточного автокодировщика, эксперименты в статическом режиме подтвердили возможность обеспечить хорошую точность разделения бездефектных и дефектных

образцов, тогда как в ходе анализа результатов динамической обработки видеопотока выявлена необходимость расширения обучающей выборки и доработки алгоритма для обеспечения стабильности получаемого результата в реальном времени.

В дальнейших исследованиях планируются оптимизация архитектуры модели и методов аугментации данных, а также внедрение специализированных приёмов компенсации теневых артефактов и вариаций цвета для повышения надёжности детекции при разнообразных условиях съёмки.

Для повышения устойчивости модели к вариациям освещения требуется обучение на данных, полученных при различных положениях источника света, либо применение методов минимизации теневых эффектов.

Динамическую детекцию целесообразно дополнительно оптимизировать за счёт расширения обучающего датасета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов И.С. Трансферное обучение в компьютерном зрении: применение и перспективы. Вестник науки (2023). – 9(66). – С. 135–137.
2. Чернышов Ю. Ю. Применение автокодировщиков для выявления аномалий в киберфизических системах. Вестник пермского университета. Математика. Механика. Информатика (2022). – 4(59). – С. 89–94.
3. Камалова Ю. Б., Андриянов Н. А. Распознавание микроскопических изображений пылевых зерен с помощью сверточной нейронной сети VGG-16. Вестник Южно-Уральского государственного университета (2022). – 22(3). – С. 39–46.
4. Ломовцева Н.А., Кувайскова Ю.Е. Использование модуля нейронных сетей в системе Statistica для решения задачи классификации. Известия Южного федерального университета. Вестник Ульяновского государственного технического университета (2021). – 4(104). – С. 59–61.
5. Маршалко Д.А. Кубанских О.В. Архитектура свёрточных нейронных сетей. Ученые записки Брянского государственного университета (2019). – 2(30). – С. 10–13.
6. Скороход А.В., Гордиенко М.В., Семенкин Е.С. Введение в глубинные нейронные сети. Актуальные проблемы авиации и космонавтики (2020). – 3. – С. 83–85.
7. Кудяшов А. А., Новикова А. А. Оценка качества колоризации изображений природного ландшафта нейросетевого автокодировщика. Инженерный вестник Дона (2024). – 7. – С. 3–14.
8. Xu Z., Qian S., Ran X., Zhou J. Application of Deep Convolution Neural Network in Crack Identification. Applied Artificial Intelligence (2022). – 36(1). – Pp. 1–22.
9. Pak V., Ugli A. S. Application of transfer learning for medical image classification. Science, technology and education (2020). – 4(92). – Pp. 39–42.
10. Wei W., Xu X. Application of crack detection algorithm using convolutional neural network in concrete pavement construction. International Journal of Grid and Utility Computing (2022). – 13(2-3). – Pp. 154–163.

© Р. М. Новиков, Д. Н. Титов 2025

А. Ю. Солдатов¹, В. В. Селифанов¹✉

Оценка угроз и уязвимостей информационной безопасности в оплотехнических системах с использованием технологии квантового распределения ключей

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: dglasermann@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема оценки угроз и уязвимостей информационной безопасности в оплотехнических системах, использующих технологию квантового распределения ключей (КРК). Проведён анализ патентов, определены два ключевых документа, пригодных для разработки системы управления угроз. Изучены подходы к оценке угроз, среди которых обоснована применимость методики ФСТЭК России 2021 года. Описаны типичные угрозы КРК-систем, такие как атака с расщеплением по числу фотонов, атака «троянский конь» и ослепление детекторов, с примерами их реализации. Подтверждена необходимость компьютерного моделирования для анализа угроз. Разработаны три модели: эталонная (дискретно-событийная), с топологией «Звезда» и «Точка-Точка». Сравнительная оценка показала, что эталонная модель превосходит модели, построенные по другим топологиям, по времени цикла на 40 % и на 59 % соответственно, по показателю эффективности – на 15 % и 28 % соответственно, что делает её перспективной для повышения безопасности КРК-систем.

Ключевые слова: информационная безопасность, уязвимости, имитационное моделирование, оценка угроз

A. Yu. Soldatov¹, V. V. Selifanov¹✉

Assessment of threats and vulnerabilities of information security in optotechnical systems using quantum key distribution technology

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: dglasermann@mail.ru

Abstract. The paper deals with the problem of assessing threats and vulnerabilities of information security in optotechnical systems using quantum key distribution (QKD) technology. Patents are analyzed, two key documents suitable for the development of threat management system are identified. Approaches to threat assessment are studied, applicability of the FSTEC of Russia 2021 methodology is substantiated. Typical threats to AAC systems, such as photon number splitting attack, Trojan horse attack and detector blinding are described, with examples of their realization. The need for computer modeling for threat analysis is confirmed. Three models were developed: a reference model (discrete-event), with Star topology and Point-to-Point topology. Comparative evaluation showed that the reference model outperforms the alternatives in terms of cycle time (1.665 min) and efficiency ($We = 0.23$), which makes it promising for improving the security of AAC systems.

Keywords: information security, vulnerabilities, simulation modeling, threat assessment

Введение

Оплотехнические системы с технологией квантового распределения ключей (КРК) обеспечивают высокий уровень защиты данных. Однако практическая ре-

ализация таких систем сталкивается с угрозами и уязвимостями, обусловленными аппаратными и программными ограничениями. Рост числа квантовых атак и требования нормативных документов, таких как методика ФСТЭК России, подчёркивают актуальность исследования [1-3].

Цель статьи — разработка и оценка имитационной модели для анализа угроз и уязвимостей в КРК-системах. Для достижения данной цели необходимо выполнить ряд задач, которые включают в себя анализ патентов, изучение подходов к оценке угроз, описание типичных атак, создание трёх моделей и их сравнение по эффективности.

Анализ патентной документации

Для разработки модели угроз проанализированы патенты: RU 2326442 C1 (2008) [4], RU 2503985 C2 (2014) [5], RU 2665096 C1 (2018) [6] и RU 2747626 C1 (2021) [7]. Они отражают развитие систем управления, применимых к информационной безопасности.

– RU 2326442 C1 предлагает метод оценки эффективности через частные показатели, полезный для анализа мер защиты.

– RU 2503985 C2 вводит двухуровневую архитектуру управления, повышая гибкость.

– RU 2665096 C1 расширяет функционал, включая защиту информации.

– RU 2747626 C1 интегрирует кибербезопасность, предлагая комплексное управление.

Патенты RU 2665096 C1 и RU 2747626 C1 выделены как наиболее релевантные для КРК благодаря двухуровневой архитектуре и возможностям анализа данных, что позволяет адаптировать их для мониторинга квантовых каналов и управления ключами.

Подходы к оценке угроз безопасности информации

Среди подходов к оценке угроз (методика ФСТЭК 2008 г., 2021 г., модели угроз САРЭС и АТТ&СК) методика ФСТЭК России 2021 года выбрана как основная благодаря соответствию российским стандартам и структурированности. Данная методика включает следующие этапы:

- определение класса защищённости;
- анализ негативных последствий;
- выявление объектов воздействия;
- определение источников угроз;
- оценка способов реализации;
- оценка актуальности угроз.

Для КРК-систем методика может быть также адаптирована с учётом квантовых атак (например, PNS-атака, атаки на детекторы), что делает её оптимальной при условии расширения возможных объектов воздействия и списка возможных угроз.

Угрозы на протокол КРК и техническую реализацию

Угрозы на канал КРК принято разделять как «атаки на техническую реализацию» и «атаки на протокол КРК». КРК-системы подвержены следующим угрозам:

- PNS-атака: использование многофотонных импульсов для перехвата ключей. Для примера можно привести ситуацию, когда в 2021 году команда Российского квантового центра продемонстрировала PNS-атаку на систему с длиной канала 50 км, получив 15 % ключевой информации [8]. Также другой эксперимент Diamanti, E et al. (2016) [9] подтвердил эффективность PNS-атак в системах с ослабленными лазерными импульсами. При длине канала 50 км атакующий получал до 30 % ключевой информации, используя квантовую память для хранения перехваченных фотонов;

- атака «троянский конь»: зондирование импульсами для раскрытия состояния системы. Для примера актуальности данной атаки можно привести работу автора Henning Weier и его коллег (2011) [10], в которой было показано, что атака «троянский конь» позволяет восстановить до 60 % ключа в системах без оптических изоляторов. Импульсы мощностью 0,5 мВт вызывали измеримые отражения, раскрывающие состояние фазовых модуляторов;

- ослепление детекторов: подавление детекторов для навязывания ключей. В 2010 году международная группа исследователей (Lydersen et al.) продемонстрировала успешную атаку на коммерческую систему QKD (ID Quantique), используя ослепление детекторов. Злоумышленники подавали импульсы мощностью 1 мВт, что привело к полному контролю над генерацией ключа без генерации ошибок [11].

Все вышеперечисленные примеры подтверждают необходимость анализа угроз через моделирование.

Необходимость разработки компьютерной модели

Разработка компьютерной модели для оценки угроз и уязвимостей в опто-технических системах с использованием технологии КРК обусловлена следующими причинами.

1. Любая обработка данных требует защиты: в любых системах, где осуществляется обработка информации, включая КРК, необходимо строить систему защиты для предотвращения утечек и атак, что подтверждается нормативными требованиями, такими как приказы ФСТЭК России № 21 [12] и № 31.

2. Снижение затрат: проведение экспериментов на реальных системах дорого и трудозатратно, что делает моделирование экономически выгодной альтернативой.

3. Оптимизация проектирования: моделирование позволяет заранее симулировать атаки и разрабатывать эффективные контрмеры, упрощая проектирование защищённых систем передачи данных.

Модель обеспечивает анализ специфических угроз и повышает надёжность КРК-систем, что особенно важно в условиях роста квантовых атак.

Построение моделей

Разработаны три модели в программной среде AnyLogic [13]. Это российская платформа для имитационного моделирования, поддерживающая три известных моделирования:

- системная динамика;
- дискретно-событийное моделирование;
- агентное моделирование
- Эталонная модель: основана на дискретно-событийном подходе, включает сбор данных, принятие решений и реализацию мер защиты (рис. 1–3).
- Топология «Звезда»: централизованная система с единым аналитическим ядром.
- Топология «Точка-Точка»: децентрализованная система с автономным анализом узлов [14].

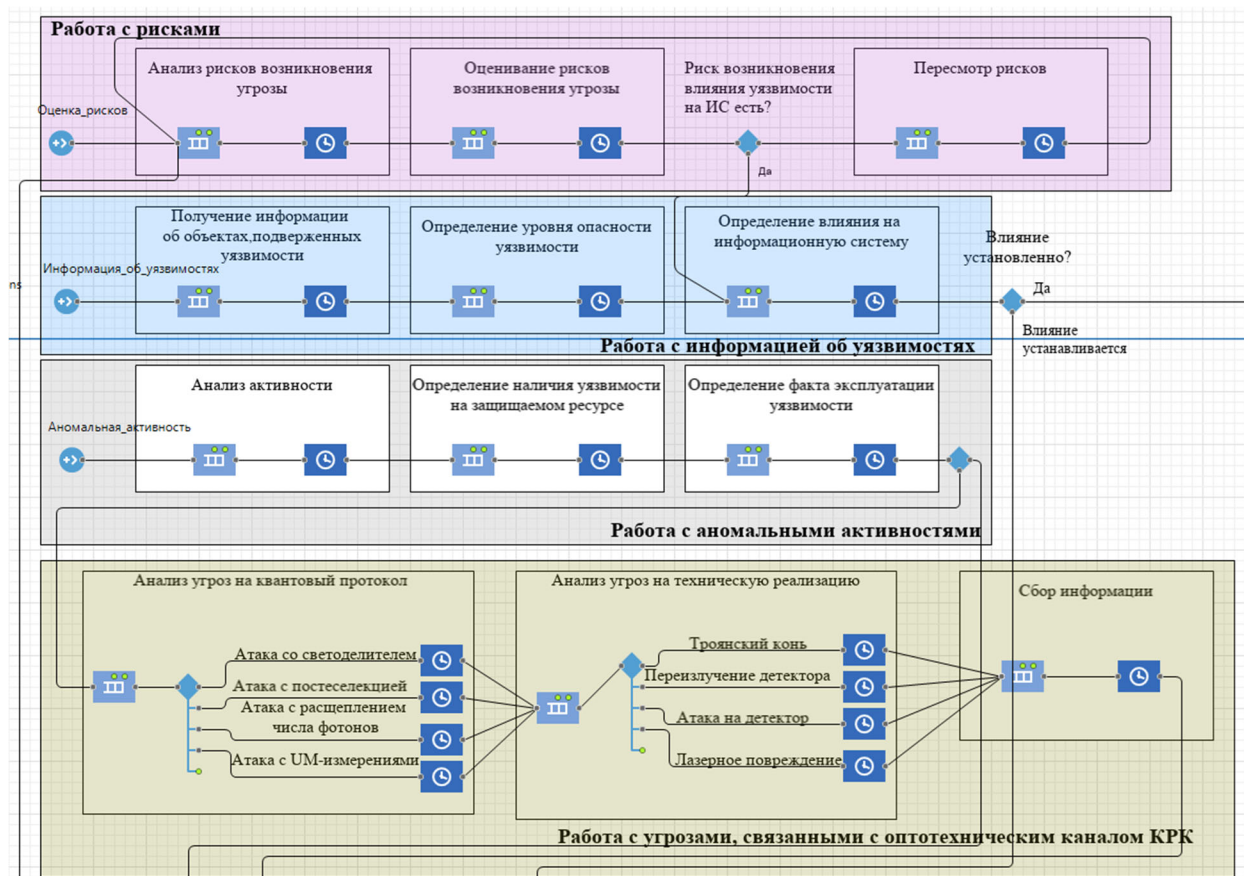


Рис. 1. Фрагмент модели системы управления угрозами – блоки с анализом поступающей информации

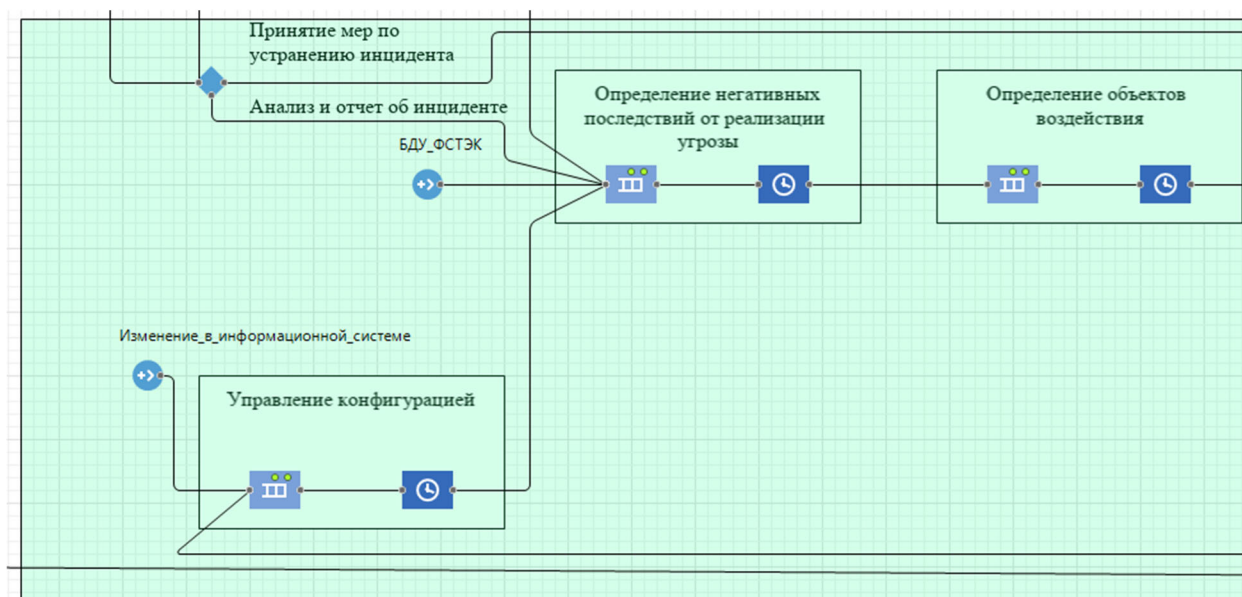


Рис. 2. Фрагмент модели системы управления угрозами – блок с выявлением актуальных угроз

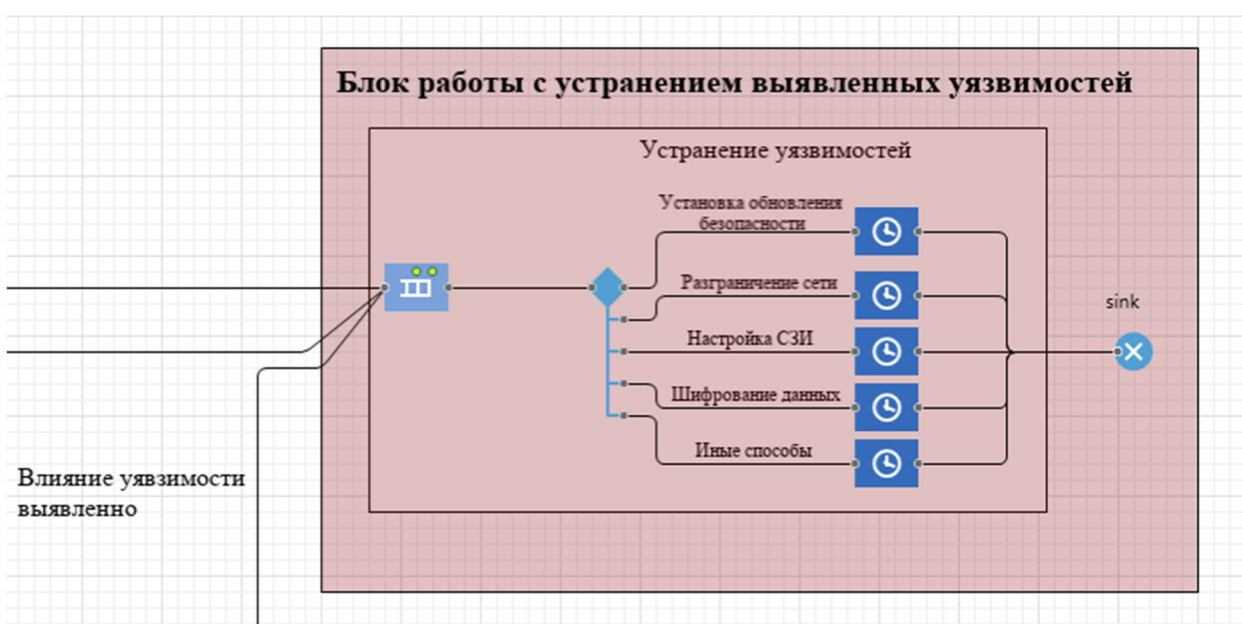


Рис. 3. Фрагмент модели системы управления угрозами – блок работы с устранением выявленных уязвимостей

Разработанная модель имеет основные изменяемые параметры, а именно [14]:

- интенсивность прибытия агентов, определяющая как часто будут поступать события в систему;
- вместимость очереди событий, поступающих в систему;

– время задержки события, поступающего в систему, до его обработки. Данные параметры имеют своё отражение в реальной системе управления угрозами. Интенсивность прибытия может быть настроена на основе статистики поступления событий в реальной системе. Вместимость очереди подразумевает очередь обработки поступивших событий в реальной системе. Время задержки учитывает среднее время жизни события до полной его обработки в реальной системе.

Далее для построенных моделей была проведена оценка эффективности для выявления того варианта, который по конкретным показателям окажется более эффективным в работе.

Оценка эффективности

Эффективность моделей измерялась формулой [15]:

$$W_{\varepsilon} = P_{св.сб} \times P_{np} \times P_{св.пр} \times P_p, \quad (1)$$

где $P_{св.сб}$ – вероятность своевременного сбора всей необходимой для принятия решений информации; P_{np} – вероятность правильного принятия решений; $P_{св.пр}$ – вероятность своевременного и правильного принятия решений; P_p – вероятность своевременной реализации принятых решений.

Результаты после 17211 запусков моделей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ моделей

Показатель	Эталонная модель	Топология «Звезда»	Топология «Точка-Точка»
Среднее время цикла, мин	1,665	$2,8 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,5$
Минимальное время, мин	0,104	0,3	0,7
Максимальное время, мин	9,030	12,4	8,9
W_{ε}	0,23	0,2	0,18

Эталонная модель демонстрирует меньшее время цикла (на 40 % по сравнению с «Звездой» и на 59 % с «Точка-Точка») и более высокую эффективность (15 % и 28 % соответственно), что подтверждает её преимущество.

Заключение

В результате исследования была разработана эталонная имитационная модель оценки угроз и уязвимостей в оплототехнических системах с использованием технологии КРК, отличающаяся от рассмотренных топологий «Звезда» и «Точка-Точка». Проведён анализ патентной документации, определены ключевые реше-

ния, а также изучены подходы к оценке угроз, среди которых методика ФСТЭК 2021 года выбрана как оптимальная. Оценка эффективности показала превосходство дискретно-событийной модели (на 15 % и 28 % соответственно) над альтернативными вариантами. Реализация предложенной модели обеспечит высокий уровень безопасности КРК-систем, позволяя эффективно противодействовать специфическим угрозам и оптимизировать проектирование защищённых опто-технических решений для различных приложений [16-20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьянов В. С. О некоторых вопросах, идеях и технологических решениях в области квантового распределения ключей безопасности // Информационная безопасность : сб. докл. Всерос. Школы молодых ученых, Новосибирск, 14–18 нояб. 2022 г. – Новосибирск : СибГУТИ, 2022. – С. 34–39. – DOI 10.55648/978-5-91434-080-0-2022-34-39.
2. Алексеев А. Л., Егоров В. И., Щербаков А. Ю. Об одном способе защиты интерфейса взаимодействия квантовой аппаратуры распределения ключей и средств криптографической защиты информации // Вестник современных цифровых технологий. – 2021. – № 9. – С. 15–18.
3. Бобков Е. О., Балашова Е. А., Крыжановский А. В. Применение технологии квантового распределения ключей в волоконно-оптических линиях связи // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 1–4. – С. 29–36.
4. Патент № 2326442 Российская Федерация, МПК G07C 3/00, G06F 17/00. Способ оценки эффективности управления и устройство для его осуществления : № 2007102742/09 : заявл. 24.01.2007 : опубл. 10.06.2008 / В. А. Селифанов, В. В. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный авиационный инженерный университет" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.
5. Патент № 2503985 Российская Федерация, МПК G05B 15/00. Способ двухуровневого управления техническими средствами и система для его осуществления : № 2012105841/08 : заявл. 17.02.2012 : опубл. 10.01.2014 / В. А. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный авиационный инженерный университет" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.
6. Патент № 2665096 Российская Федерация, МПК G05B 15/00. Способ двухуровневого управления и система для его осуществления (варианты) : № 2018113685 : заявл. 13.04.2018 : опубл. 28.08.2018 / В. А. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».
7. Патент № 2747626 Российская Федерация, МПК G05B 15/02. Способ двухуровневого управления и система управления для его осуществления (варианты) : № 2020114340 : заявл. 22.04.2020 : опубл. 11.05.2021 / В. А. Селифанов, В. В. Селифанов, А. В. Селифанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».
8. Молотков С. Н. Побочные каналы утечки информации в квантовой криптографии: не строго однофотонные состояния, разные квантовые эффективности детекторов, конечные передаваемые последовательности // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2021. – Т. 160, вып. 3 (9). – С. 327–365. – URL: http://www.jetp.ras.ru/cgi-bin/dn/r_160_0327.pdf (дата обращения: 24.04.2025).
9. Diamanti E. Practical challenges in quantum key distribution / E. Diamanti, H.-K. Lo, B. Qi [et al.]. – Текст : электронный // npj Quantum Information. – 2016. – Vol. 2. – Article 16025. – DOI:

10.1038/npjqi.2016.25. – URL: <https://www.nature.com/articles/npjqi201625> (дата обращения: 24.04.2025).

10. Weier H. Quantum eavesdropping without interception: an attack exploiting the dead time of single-photon detectors / H. Weier, H. Krauss, M. Rau, M. Fürst, S. Nauerth, H. Weinfurter. – Текст : электронный // New Journal of Physics. – 2011. – Vol. 13, № 7. – P. 073024. – DOI: 10.1088/1367-2630/13/7/073024. – URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011NJPh...13g3024W> (дата обращения: 24.04.2025).

11. Lydersen L. Hacking commercial quantum cryptography systems by tailored bright illumination / L. Lydersen, C. Wiechers, C. Wittmann [et al.]. – Текст : электронный // Nature Photonics. – 2010. – Vol. 4. – P. 686–689. – DOI: 10.1038/nphoton.2010.214. – URL: <https://www.nature.com/articles/nphoton.2010.214> (дата обращения: 24.04.2025).

12. Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» // Российская газета. — 2013. — № 107.

13. Справочное руководство по библиотеке моделирования процессов. AnyLogic, 2024.

14. Методика оценки угроз безопасности информации. ФСТЭК России, 2021.

15. Шабурова А. В., Селифанов В. А., Селифанов В. В., Звягинцева П. А., Исаева Ю. А., Голдобина А. С., Селифанов А. В. Моделирование процессов и систем защиты информации. AnyLogic : учебное пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 70 с.

16. Хабр. Топология физических связей [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/850834/> (дата обращения: 20.04.2025).

17. Жилин С. В. Квантовое распределение ключей по беспроводному оптическому каналу связи / С. В. Жилин, В. В. Архипенко, Е. С. Басан // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2022) : Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. В двух томах, Таганрог, 08–10 июня 2022 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. – С. 194–200.

18. Луценко С. А. Способ квантового распределения ключей в облачных сетях / С. А. Луценко, П. В. Заика, С. Ю. Козлов // Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации : Труды всеармейской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 октября 2017 го-да. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации, 2017. – С. 218–220.

19. Габдулхаков И. М. Построение многоканальной системы квантового распределения ключей с частотным кодированием / И. М. Габдулхаков, О. Г. Морозов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5(65). – С. 53.

20. Габдулхаков И. М. Принципы построения универсальной системы квантового распределения ключей с частотным кодированием на основе амплитудной модуляции и фазовой коммутации / И. М. Габдулхаков, О. Г. Морозов // Актуальные вопросы телекоммуникаций : Научно-техническая конференция Росинфоком-2017, Самара, 01 сентября 2017 года / Федеральное агентство связи; Департамент информационных технологий и связи Самарской области; Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики; Научно-исследовательский институт радио. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. – С. 81–82.

© А. Ю. Солдатов, В. В. Селифанов, 2025

С. С. Харченко¹✉, С. А. Арбузов¹

Объектно-ориентированная классификация для предварительного анализа данных воздушного лазерного сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kharchenk04@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика предварительного анализа данных воздушного лазерного сканирования (ВЛС) для выявления участков местности, требующих дополнительных наземных геодезических измерений. Сравниваются результаты, полученные с помощью ВЛС и данные тахеометрической съемки, проводится оценка точности. Выявлено, что ВЛС не всегда демонстрирует высокую эффективность для определенных типов местности, что подчеркивается необходимостью комплексного подхода к выбору методов съемки. В связи с этим предлагается внедрение в существующую технологическую схему объектно-ориентированной классификации для предварительного анализа данных ВЛС, что позволяет принять обоснованные решения о необходимости дополнительной наземной съемки. Статья описывает экспериментальную апробацию предложенной методики, результаты которой подтверждают ее эффективность для дальнейшего применения.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, объектно-ориентированная классификация

S. S. Kharchenko¹✉, S. A. Arbuzov¹

OBIA-classification for preliminary analysis of airborne laser scanning data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kharchenk04@mail.ru

Abstract. Annotation. The article considers object-oriented classification as a method of preliminary analysis of airborne laser scanning (LiDAR) data. The results obtained with the help of the radar and the data of the total station survey are compared, and an accuracy assessment is carried out. It is revealed that aerial laser scanning does not always demonstrate high efficiency for certain types of terrain, which emphasizes the need for an integrated approach to the choice of shooting methods. In this regard, it is proposed to introduce an object-oriented classification into the existing technological scheme for preliminary analysis of radar data, which makes it possible to make informed decisions about the need for additional ground surveys. The article includes an experimental approbation of the proposed technique, the results of which confirm its effectiveness for further application.

Keywords: LiDAR, object-oriented classification

Введение

В настоящее время технология лазерного сканирования бурно развивается: на рынке появляется все больше доступных лазерных сканеров, развивается технология SLAM-сканирования. Для целей воздушного лазерного сканирования

(ВЛС) на рынке появляется преимущественно модели беспилотных авиационных систем, выступающих в качестве носителей оборудования. Также активно развивается и программные продукты для обработки данных лазерного сканирования. Основная задача технологии ВЛС – уменьшить затрачиваемое время на полевые работы, при этом не потеряв в точности получаемых данных. Поэтому возникает необходимость в эффективных методах уравнивания, фильтрации и классификации данных. Существует множество методов фильтрации и классификации данных, но не существует универсального подхода, работающего для всех типов местности. Более того, для некоторых типов поверхности (высокая, плотная растительность) построить цифровую модель рельефа методом ВЛС вообще не представляется возможным. В связи с этим требуется предварительный анализ данных ВЛС. В статье предложена методика применения объектно-ориентированной классификации для выявления мест, в которых требуются дополнительные наземные измерения.

Методы и материалы

Для исследований применялся аэрофотосъемочный комплекс «Геоскан 401 – Лидар», оснащенный лазерным сканером АГМ – МС3. Воздушное лазерное сканирование было выполнено в августе 2022 года в соответствии с требованиями [3, 2]. Уравнивание данных было выполнено в программном продукте «ScanWorks Pro», последующая обработка (фильтрация, классификация, построение цифровых модели рельефа и местности) в «Terrasolid Terrascan» на базе «MicroStation». Также на исследуемом участке местности была произведена тахеометрическая съемка тахеометром «Leica TS07», обработка данных тахеометрической съемки была произведена в программном продукте «Credo DAT». Операции с растровыми изображениями и объектно-ориентированная классификация были проведены в свободно-распространяемом программном продукте QGIS, модуле Orfeo ToolBox (OTB).

Сравнение результатов тахеометрической съемки и ВЛС

По результатам лазерного сканирования с беспилотного воздушного судна (БВС) была произведена оценка точности по контрольным пикетам, созданным тахеометрическим способом. Плановая оценка точности была произведена по наземным опознакам и характерным объектам местности – дорожным знакам, камерам контроля скорости, камням и т.д.

Для высотной оценки точности по материалам ВЛС и тахеометрической съемки были построены цифровые модели рельефа, представленные на рис. 1.

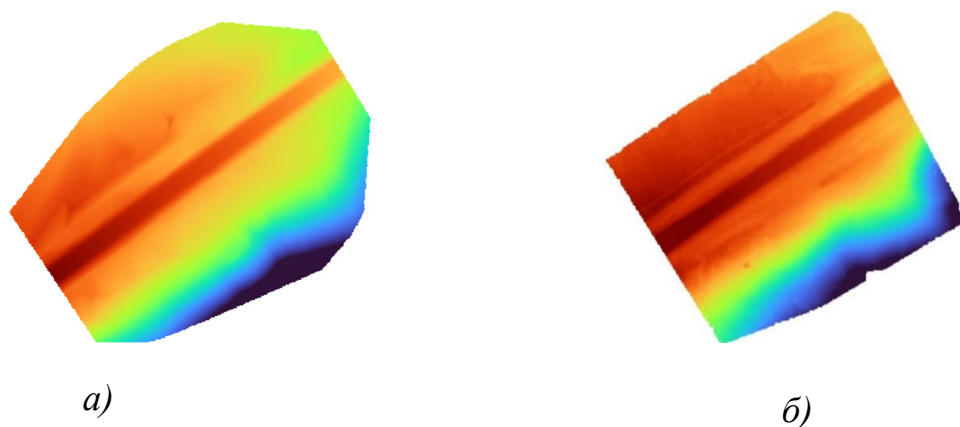


Рис. 1. Цифровые модели рельефа:
а) – по данным тахеометрической съемки, б) – по данным ВЛС

Оценка высотной точности была произведена с помощью построения разностной карты ошибок: ЦМР, полученная по лидарным данным, была вычтена из ЦМР, построенной по результатам тахеометрической съемки. Полученное изображение было классифицировано в соответствии с допусками по ошибкам, описанным в [2, 3].

После создания разностной моделей высот (рис.2.) данные были проанализированы с помощью продольных профилей в ПО «TerraSolid». Продольные профили имели «глубину» - 0,5 м, синим цветом – облако точек, полученных с лидара, черным цветом – проинтерполированные тахеометрические точки. Построенные профили представлены на рис. 3.

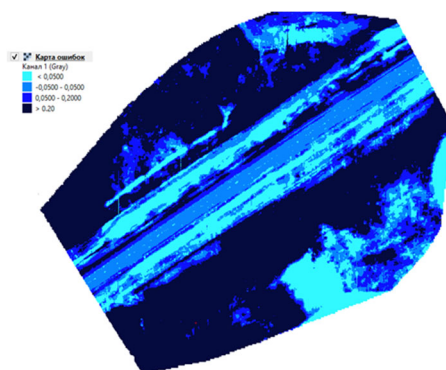
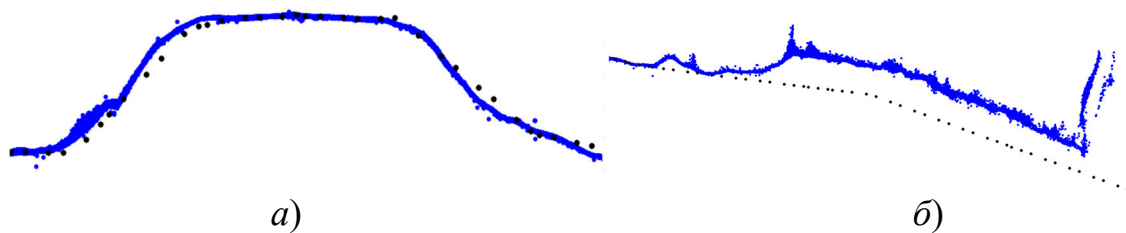


Рис. 2. Разностная модель высот



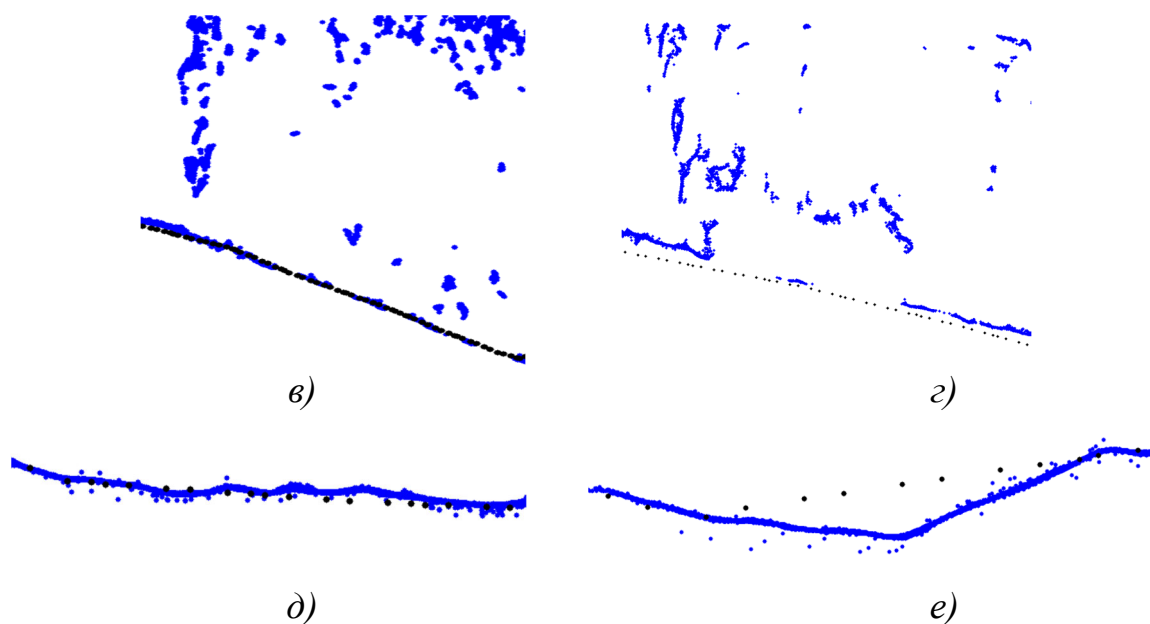


Рис. 3. Продольные профили, построенные для разных типов местности:
 а) автодорога, б) высокая травяная растительность, в) лесная растительность без подлеска, г) лесная растительность с подлеском, д) низкая травяная растительность, е) ошибки интерполяции

Как следует из рис. 3, наименьшие расхождения между двумя моделями были получены на заасфальтированных участках, в местности со скошенной травой и в лесу с низкой подлесной растительностью. Значительные расхождения между двумя моделями возникли на щебне, открытом грунте, высокой траве и в лесу с высоким и плотным подлеском. Расхождения на щебне и открытом грунте можно объяснить ошибкой интерполяции – пикеты с помощью тахеометра набирались через 15 м, что гораздо меньше плотности ВЛС. Расхождения на участках, поросших травой, связаны с практически полным отсутствием точек лазерного отражения (ТЛО) от земли и наличием многочисленных отражений от частей растений на разной высоте.

Таким образом, при проведении тестовой экспериментальной съемки выяснилось, что при всех своих достоинствах метод ВАС имеет ограничения, требующие применения наземных инструментальных методов.

Поэтому в существующую технологическую схему выполнения работ [4] необходимо добавить раздел, в котором специалисту требуется проанализировать полученные данные с лидара на предмет их достоверности и, в соответствии с этим, выполнить досъемку местности наземными средствами.

Объектно-ориентированная классификация для предварительного анализа данных воздушного лазерного сканирования

Возвращаясь к анализируемым данным, было высказано предположение, что ошибка на местности может быть связана с величиной дисперсии облака точек. Данное предположение основано на продольных профилях, представленных на рис. 3.

Для предварительного анализа территории с целью определения участков местности, на которых без использования наземных методов построение достоверной цифровой модели рельефа невозможно, была предложена методика применения «Объектно-ориентированной классификации» для анализа матрицы высот.

Объектно-ориентированная классификация (Object Based Image Analysis – OBIA) – это метод объединения объектов в классы по какому-либо значению или диапазону значений. Методы объектно-ориентированной классификации, основанные на сегментации изображений, направлены на выявление и классификацию сегментов изображений, а не отдельных пикселей [1].

Основная идея предлагаемого подхода – классифицировать блоки пикселей матрицы высот по четырем признакам: стандартное, минимальное, максимальное и среднее отклонения. В результате должен получиться растр, на котором будут выделены зоны различных классов по характеру подстилающей поверхности. В дальнейшем по такому растру можно будет определить объем полевых наземных работ и территорию на местности, где они необходимы.

На первом этапе предварительного анализа данных была построена разностная модель – путем вычитания цифровой модели рельефа (ЦМР) из цифровой модели поверхности (ЦМП). На рис. 4 представлена ЦМП по результатам ВЛС, а также полученная разностная модель.

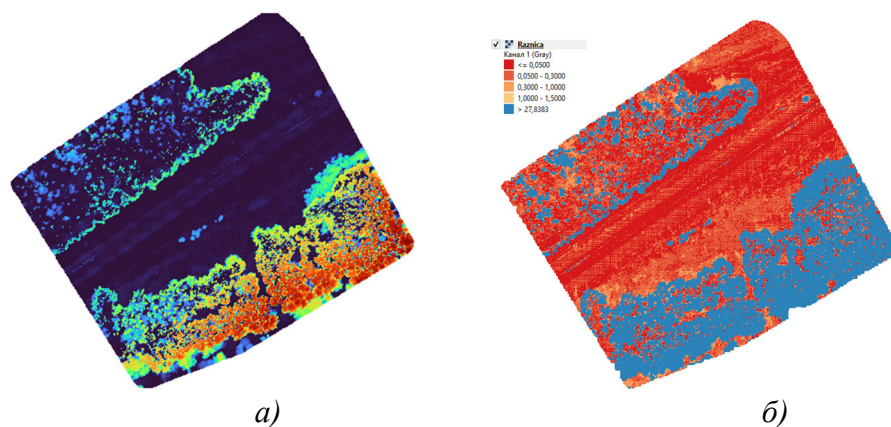


Рис. 4. Полученные растры:
а) ЦМП, б) разностная модель

Далее была построена сетка размером 1х1 м, а затем с помощью модуля ОТВ была посчитана зональная статистика по разностной модели для каждой ячейки. На основании полученных данных была построена сетка размером 1х1 м, а затем с помощью модуля ОТВ была посчитана зональная статистика по разностной модели для каждой ячейки. Затем была сформирована обучающая выборка на основе разностной модели. Всего было создано пять регионов интереса:

- 1 класс – расхождения до 0,05 м,
- 2 класс – от 0,05 до 0,1 м,
- 3 класс – от 0,1 до 0,3 м,

4 класс – от 0,3 до 1,5 м,

5 класс – пустые ячейки без информации.

Созданные области интереса представлены на рис. 5.

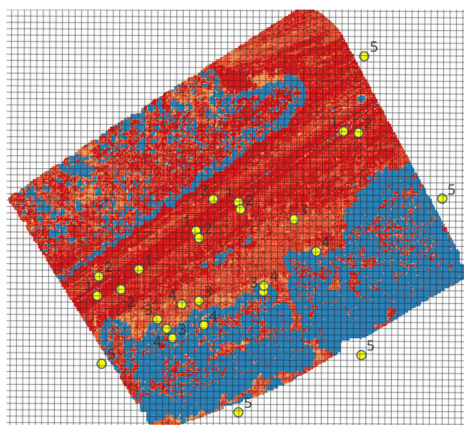


Рис. 5. Обучающая выборка

Далее было произведено обучение и непосредственно классификация. ОТВ представляет несколько методов классификации [5]:

- метод «опорных векторов»;
- метод с использованием «дерева решений»;
- классификация на основе искусственных нейронных сетей;
- нормальный байесовский классификатор;
- метод «случайных лесов»;
- метод «к-ближайших»;
- метод – «к-средних»;

Классификация была произведена с помощью всех доступных в ОТВ методов. По результатам экспериментов с задачей справились методы «случайных лесов», «дерево решений» и «опорных векторов» (рис.6).

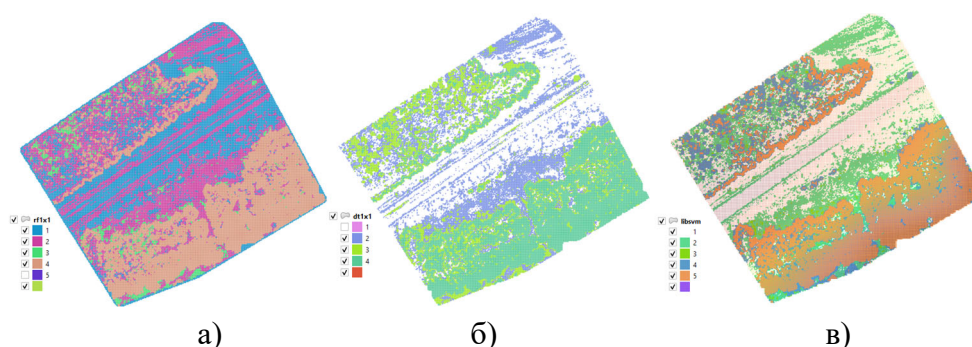


Рис. 6. Результаты работы методов:

а) «случайных лесов»; б) «дерево решений»; в) «опорных векторов»

Как видно из рис. 6, с помощью данной методики удалось выделить участки с высокой травой. Но из-за деревьев не были выделены участки с высокой и низкой

подлесной растительностью. Для выделения таких участков была построена новая цифровая модель поверхности, но без ранее классифицированных деревьев. Далее была произведена OBIA классификация по описанным выше этапам. Также из-за неоднородности «подлесной» растительности классификация производилась на основе сетки размером 2,5х 2,5 м. Классификация была проведена с помощью всех доступных методов, при этом наиболее хорошие результаты показали методы классификации «опорных векторов» и «случайных лесов» (рис. 7).

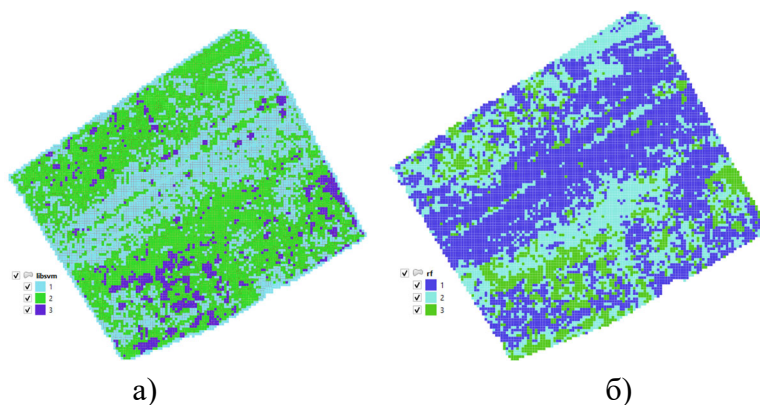


Рис. 7. Результаты работы методов:
а) «опорных векторов», б) «случайных деревьев»

Таким образом на основании полученной модели можно выделить полигоны, где требуются дополнительные наземные измерения. Данные полигоны можно векторизовать с помощью стандартных методов Q – GIS и экспортировать в обменный формат Shape, DXF, KML/KMZ и др. Далее полученный файл можно передать на любое устройство (в том числе на полевой контроллер ГНСС оборудования), поддерживающее данные форматы. Полученную по тестовому полигону обучающую выборку можно использовать для предварительной обработки ВЛС на других объектах.

Обновленная технологическая схема выполненных работ с использованием ВЛС в упрощенном виде с добавленными блоками представлена на рис. 8.

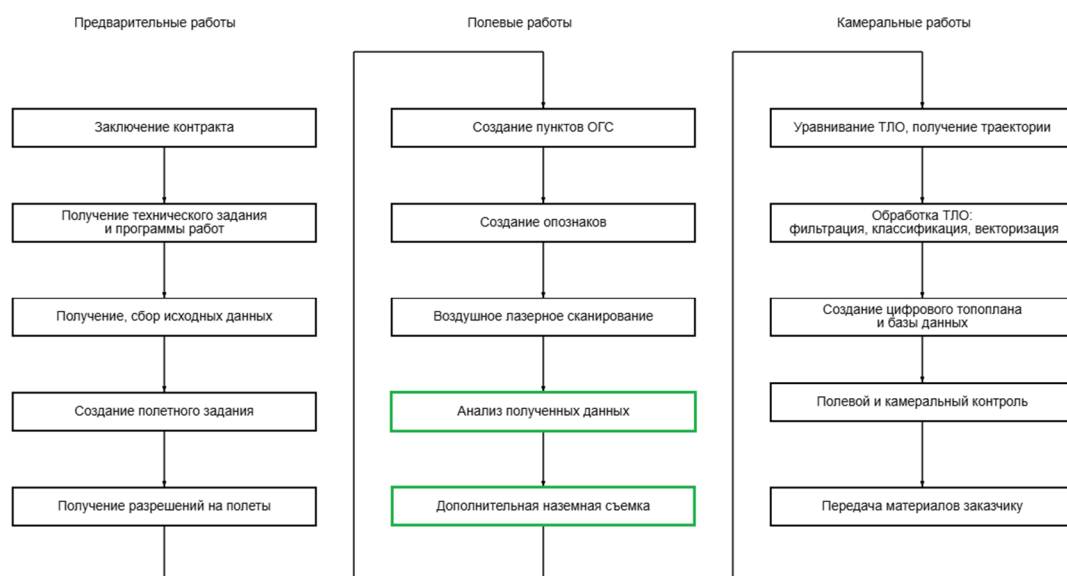


Рис. 8. Упрощенная технологическая схема выполнения работ с использованием ВЛС

Выводы

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

- предложенная методика хорошо подходит для предварительного анализа данных ВЛС, полученных на местности с травяной растительностью. Данную методику по упрощенной схеме можно применять в полевых условиях – например, в новых версиях программного продукта для вывода ТЛО – «ScanWorks Pro» – реализована возможность создания поверхностей. В этом случае для предварительного анализа можно обойтись без углубленной классификации точек;
- применение методики для анализа местности с подлесной растительностью более трудоемко, т.к. требует классификации растительности;
- предлагаемая методика нуждается в дополнительных исследованиях ввиду того, что данные тахеометрической съемки были неполными, вследствие чего затруднительно сделать выводы о точности сканирования в некоторых местах; кроме того, исследуемый участок местности является довольно ограниченным по размерам и не содержал всего разнообразия типов растительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джамалов А.Т., Рагимов Р.М., Алескеров Э.Р. Методика объектно-ориентированной классификации изображений на основе комбинирования космических снимков разного пространственного разрешения [Текст] / А.Т. Джамалов, Р.М. Рагимов, Э.Р. Алескеров // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. — 2013. — № 15. — С. 55-60.
2. ГОСТ Р 59328-2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 февраля 2021 г. N 85-ст: введен впервые / Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»), Федеральным государственным бюджетным учре-

ждением «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД») и Обществом с ограниченной ответственностью «Геоскан» . – Москва : Стандартинформ, 2021. – 32 с.

3. ГОСТ Р 70689-2023. Дороги автомобильные общего пользования. Лазерное сканирование. Общие требования к проведению работ : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 августа 2023 г. N 628-ст: введен впервые / разработан Федеральным автономным учреждением «Российский дорожный научно-исследовательский институт» (ФАУ «РОСДОРНИИ») Министерства транспорта Российской Федерации . – Москва : Российский институт стандартизации, 2023. – 23 с.

4. Комиссаров, А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий : специальность 25.00.3 «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия» : Автореферат на соискание доктора технических наук / Комиссаров, А. В. ; Сибирский государственный университет геосистем и технологий. — Новосибирск, 2016. — 48 с.

5. CNES, CS (Communication Systemes) Train Vector Classifier / CNES, CS (Communication Systemes) [Электронный ресурс] // Orfeo-Toolbox : [сайт]. — URL: https://www.orfeo-toolbox.org/Cook-Book/Applications/app_TrainVectorClassifier.html (дата обращения: 16.01.2025).

© С. С. Харченко, С. А. Арбузов, 2025

В. В. Юнеман¹✉, В. С. Ефремов¹

Создание 3D-модели двухдиапазонного зеркально-линзового устройства: обзор материалов и компьютерное моделирование

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Yuneman2002@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс создания 3D-модели устройства, использующего зеркально-линзовую конструкцию в двух спектральных диапазонах, с акцентом на выбор оптимальных материалов и применение компьютерного моделирования для анализа и оценки его оптических характеристик. Уделено особое внимание исследованию наиболее прогрессивных оптических материалов, таких как фтористый магний (MgF_2), сульфид цинка (ZnS), селенид цинка (ZnSe), кварц (SiO_2), германий (Ge), и т.д. Каждый из этих материалов обладает уникальными оптическими свойствами, которые определяют их пригодность для использования в системах, работающих как в видимой, так и в инфракрасной части спектра. В результате проведенных исследований представлены результаты моделирования, демонстрирующие высокую точность и надежность предложенной конструкции. Работа подчеркивает значимость интеграции современных технологий моделирования в процесс разработки оптических систем.

Ключевые слова: 3D-модель, двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство, оптические материалы

V. V. Yuneman¹✉, V. S. Efremov¹

Dual-spectrum optical system of a video camera for access control security systems based on key points of the face.

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Yuneman2002@mail.ru

Abstract. This paper discusses the process of creating a 3D model of a device using a mirror-lens design in two spectral ranges, with an emphasis on the selection of optimal materials and the use of computer modeling to analyze and evaluate its optical characteristics. The authors pay special attention to the study of the most advanced optical materials, such as magnesium fluoride (MgF_2), zinc sulfide (ZnS), zinc selenide (ZnSe), quartz (SiO_2) and germanium (Ge). Each of these materials has unique optical properties that determine their suitability for use in systems operating in both the visible and infrared parts of the spectrum. As a result of the conducted research, the modeling results are presented demonstrating the high accuracy and reliability of the proposed design. The work emphasizes the importance of integrating modern modeling technologies into the process of developing optical systems.

Keywords: 3D model, dual-range mirror-lens device, optical materials

Введение

В современных оптических системах важной задачей является использование материалов, которые способны эффективно функционировать как в видимом

диапазоне (от 400 до 750 нм), так и в инфракрасном диапазоне (от 3 до 5 мкм). Это особенно актуально для инструментов, разработанных для многоспектрального анализа, тепловизионной техники, лазерных технологий и космической оптики. Выбор материала для оптических элементов становится критически важным этапом в процессе проектирования таких систем.

Методы и материалы

Оценивались различные материалы по их оптическим свойствам и механическим характеристикам для выбора наиболее подходящих для создания 3D-модели. Для оптического моделирования применялась программа Zemax: для анализа оптических характеристик системы, включая точечную диаграмму пятна рассеивания; график концентрации энергии. Для разработки 3D-модели использовалась специализированная программа КОМПАС-3D, которая позволяет создавать точные геометрические модели оптических элементов и систем.

Результаты

При разработке оптических систем, которые должны функционировать в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, выбор правильных материалов играет ключевую роль [1]. Одна из основных характеристик, которая существенна для таких материалов, - это их зона прозрачности, которая должна быть как можно шире для эффективной работы в указанных диапазонах.

Кроме того, низкий показатель преломления способствует уменьшению потерь света за счет отражения [2], а высокая механическая прочность обеспечивает долговечность и устойчивость к внешним воздействиям. В табл.1 приведены несколько наиболее распространенных материалов, которые соответствуют этим требованиям.

Таблица 1

Характеристики оптических материалов

Материал	Прозрачность, нм	Показатель преломления (видимый диапазон, $\lambda = 560$ нм)	Показатель преломления (ИК, $\lambda = 4000$ нм)	Шкала Мооса	Примечания
Фтористый магний (MgF ₂)	120 – 7000	1,3786	1,3488	5	Минимальные отражательные потери

Материал	Прозрачность, нм	Показатель преломления (видимый диапазон, $\lambda = 560$ нм)	Показатель преломления (ИК, $\lambda = 4000$ нм)	Шкала Мооса	Примечания
Сульфид цинка (ZnS)	400 – 12000	2,3882	2,253	3 – 4	Увеличенные отражательные потери
Селенид цинка (ZnSe)	600 – 20000	2,6244	2,4332	3 – 4	Ограниченная прозрачность в видимой области
Кварц (SiO ₂)	180 – 4500	1,5440	1,4580	7	Не подходит для дальнего ИК диапазона
Флюорид кальция (CaF ₂)	150 – 8000	1,4349	1,4096	4 – 5	Хорошая прозрачность в УФ и ИК диапазонах
Карбид кремния (SiC)	200 – 5000	2,6480	2,5538	9 – 10	Высокая прочность и термостойкость;

Анализируя свойства перечисленных материалов, можно выделить несколько ключевых причин, по которым фтористый магний MgF₂ является наиболее предпочтительным материалом для одновременной работы в видимом и инфракрасном диапазонах:

- MgF₂ обеспечивает пропускание света от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона (от 120 нм до 7 мкм). Это позволяет использовать один материал для изготовления оптических элементов без необходимости комбинирования нескольких материалов или применения сложных многослойных покрытий;

- показатель преломления MgF₂ равен примерно 1,38 – это один из самых низких показателей среди известных оптических материалов. Низкий показатель преломления снижает отражательные потери на границах раздела воздух/материал, что повышает светопропускание и улучшает качество изображения;

- MgF₂ обладает высокой твёрдостью по шкале Мооса, равной 5, что обеспечивает устойчивость к механическим повреждениям при эксплуатации оптических элементов. Кроме того, материал химически инертен к воздействию влаги, кислот и щелочей, что значительно расширяет область его применения.

Таким образом, фтористый магний MgF₂ представляет собой оптимальный выбор для производства оптических элементов, так как другие материалы либо имеют ограничения по одному из указанных параметров, либо обладают более

высокими показателями преломления или меньшей устойчивостью к внешним воздействиям.

На основе выбранного материала были представлены результаты компьютерного моделирования двухдиапазонного зеркально-линзового устройства (рис. 1).

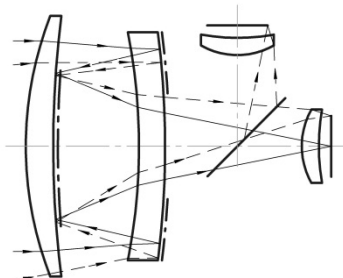


Рис. 1. Оптическая схема двухдиапазонного зеркально-линзового устройства

Двухдиапазонная оптическая система [3 - 7] рассчитывалась на расстояние 1000 мм до объекта, все оптические детали которой выполнены из MgF_2 имеет параметры: $f' = 18,9$ мм; $2\omega = 10^\circ$; $D/f' = 1:1,5$; VIS (видимый диапазон) ($\Delta\lambda$ от 0,4 до 0,75 мкм); MWIR (средневолновый ИК диапазон) ($\Delta\lambda$ от 3 до 5 мкм). Большой последний воздушный промежуток позволяет разместить спектроделительное зеркало и отклонить излучение диапазона MWIR на угол 90° (рис. 2).

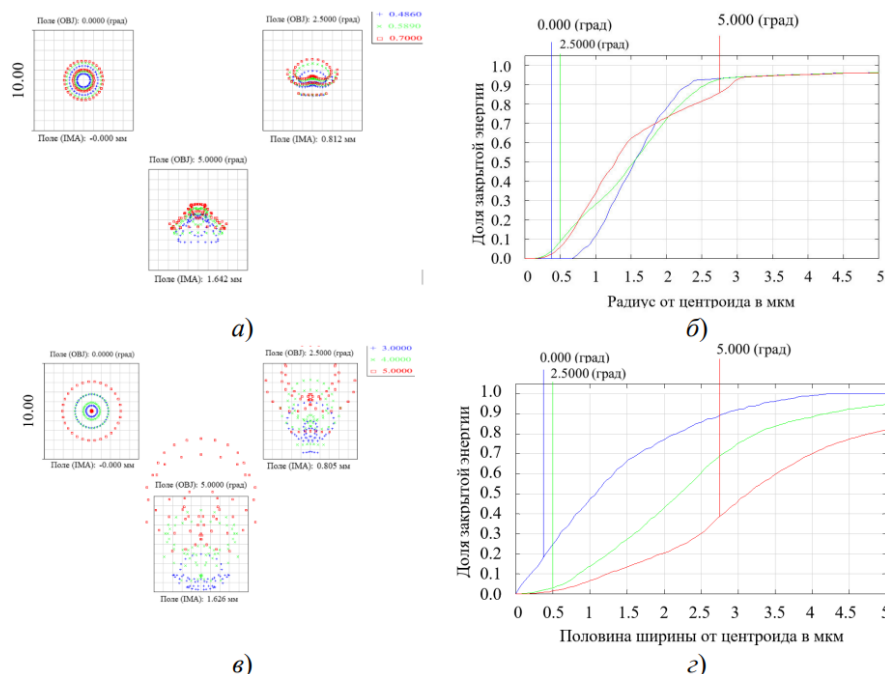


Рис. 2. Результаты моделирования МДЗЛС из материала MgF_2 в пикселе размером 10×10 мкм (VIS) и размером 10×10 мкм (MWIR): а), в) точечная диаграмма пятна рассеивания; б), г) графики концентрации энергии [8]

Таким образом, результаты оптического моделирования подтверждают эффективность выбранной системы.

Созданная 3D модель данного устройства наглядно иллюстрирует его конструкцию и особенности работы в двух диапазонах (рис. 3,4).

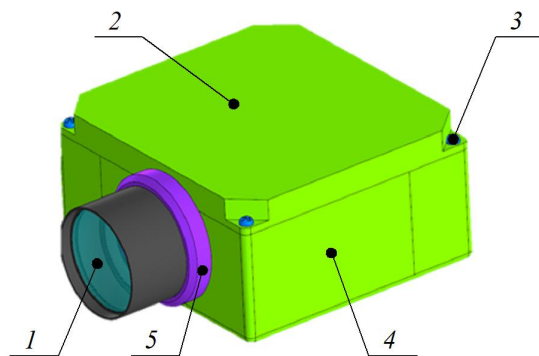


Рис. 3. Двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство:
1 – объектив; 2 – крышка; 3 – винт; 4 – корпус; 5 – резьбовое кольцо

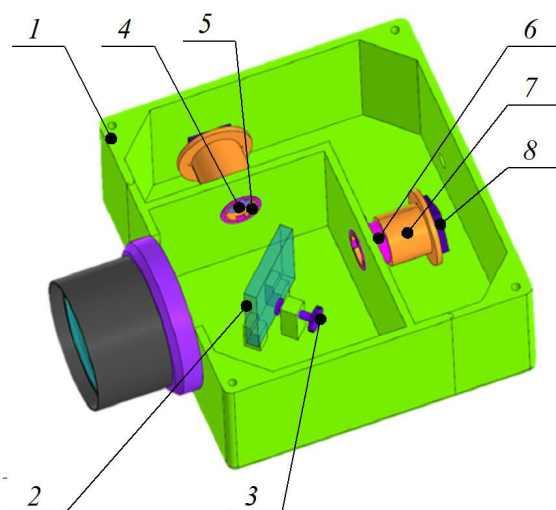


Рис. 4. Двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство с открытой крышкой:
1 – стенка; 2 – спектроделительное зеркало; 3 – зажим; 4 – линза; 5 – резьбовое кольцо;
6 – стакан; 7 – втулка; 8 – кронштейн

Модель позволит лучше понять взаимодействие оптических элементов и их расположение в системе. В корпусе предусмотрены пазы для установки двух оптических стаканов 6 и спектроделительного зеркала 2. На стакан накручивается втулка 7, а на втулку устанавливается кронштейн с помещенным в него матрицей 8 (для инфракрасного или видимого диапазонов). В стакан устанавливается линза 4 и фиксируется резьбовым кольцом 5. Спектроделительное зеркало устанавливается в пазы на корпусе и фиксируется зажимом 3. Боковая крышка 1 устанавливается на корпусе через крепление вида «ласточкин хвост» (рис. 4). Закры-

вает все устройство верхняя крышка, устанавливаемая на четыре винта.

Данная модель не только служит визуальным инструментом для анализа проектируемой системы, но и может быть использована для дальнейших исследований и оптимизации конструкции.

Заключение

В данной работе был представлен результат разработки 3D-модели двухдиапазонного зеркально-линзового устройства с акцентом на выбор оптимальных оптических материалов и применения компьютерного моделирования для анализа его характеристик.

Проведенные исследования подтвердили, что фтористый магний MgF_2 представляет собой наиболее подходящий материал для создания оптических элементов, функционирующих как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне (от 3 до 5 мкм).

Результаты компьютерного моделирования продемонстрировали надежность предложенной конструкции, что открывает новые перспективы для разработки многоспектральных систем контроля. Интеграция современных технологий моделирования в процесс проектирования оптических устройств значительно улучшает их характеристики и расширяет область применения, что является важным шагом в развитии оптической науки и техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоренко М.П., Ефремов В.С. Выбор оптических материалов для многоканальных зеркально-линзовых систем с зеркалами Манжена видеокамер беспилотных миниаппаратов / М. П. Егоренко, В. С. Ефремов. // Оптический журнал. 2020. № 12. С. 18-31.
2. Оптические материалы и ахроматическая коррекция типовых компонентов оптических систем: учеб. Пособие. Новосибирск: СГГА. – 2013. 284 с.
3. Патент на полезную модель № 98072. Двухспектральная зеркально-линзовая система. Дата государственной регистрации: 27.09.2010. Правообладатель: ГОУ ВПО «СГГА».
4. Егоренко М. П. Хроматические свойства зеркала Манжена в нескольких диапазонах спектра / М. П. Егоренко, В. С. Ефремов. – Текст: непосредственный // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – № 6. – С. 53–58.
5. Егоренко М. П. Двухспектральная оптическая система для нанодронов / М. П. Егоренко. – Текст: непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь Том №2. – 2017. – С. 38-40.
6. Юнеман В. В. Двухдиапазонное оптическое устройство видеокамеры систем безопасности контроля доступа по ключевым точкам лица / В. В. Юнеман, В. С. Ефремов. – Текст: непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь Том №6. – 2024. – С. 310-316.
7. Егоренко М. П. Многозонная зеркально-линзовая система с зеркалами Манжена / М. П. Егоренко. Дисс. канд. техн. наук. Новосибирск, 2022. – 157 с.
8. Слюсарев, Г. Г. Расчет оптических систем / Г. Г. Слюсарев. – Москва. Изд-во Машиностроение, 1975. – 640 с.

© В. В. Юнеман, В. С. Ефремов, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. Д. М. Агеев, Д. М. Никулин. Анализ методов центрирования оптических деталей	3
2. В. О. Архипов. Автоматизация распознавания объектов на космических снимках методами глубокого обучения	9
3. Д. П. Бабкина, Г. В. Симонова, П. Н. Бурдин. Анализ методов формирования торцов сердечника магнитопровода.....	16
4. К. А. Бендюков, Д. М. Никулин, Н. А. Митюшенко. Разработка стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокна в процессе обработки	22
5. О. И. Болкунова. Роль и значение премии за риск при расчете ставки дисконтирования в оценке стоимости бизнеса	29
6. К. В. Бондаренко. Гиперспектральные приборы, тенденции и перспективы развития.....	36
7. Д. А. Ваулин, Р. В. Гришин. Разработка методики автоматизированного обучения чат-ботов на универсальной платформе.....	46
8. И. Н. Гутов, А. В. Шабурова. Методика создания алгоритма расчета финансовых рисков от потери информации.....	54
9. Ю. А. Жданов, М. М. Шляхова. Обучение модели компьютерного зрения для мониторинга лесных пожаров с использованием спутниковых данных.....	60
10. А. С. Зонов, А. В. Шабурова. Сканер прошивок оптических роутеров: подходы к обнаружению программных закладок	65
11 А. В. Ильницкая, Н. В. Шестаков, Г. Н. Герасимов. Поиск наиболее информативных измерений в геодинимической ГНСС-сети с целью определения параметров очага землетрясения (на примере Нефтегорского землетрясения 1995 года)	70
12. А. Е. Качурин, Т. Н. Хацевич. Разработка термостабильных малогабаритных ИК объективов с увеличенными полями зрения	79
13. И. С. Ковенько, А. Ю. Чермошенцев. Оценка состояния экосистем с использованием гиперспектральных и мультиспектральных данных.....	87
14 В. А. Лазовик, И. О. Михайлов. Концепция наблюдательного прибора с использованием оптико-волоконного жгута	93
15 А. О. Маликов, С. В. Долин. Совершенствование метода PPP для обработки ГНСС-измерений со смартфонов нового поколения.....	101
16. А. А. Медведев, Д. Н. Титов. Методика передачи зашифрованной информации посредством световых импульсов	106
17. В. С. Михайленко, Е. А. Усанькова. Стратегический план коммерциализации наукоемкой продукции – микоризные препараты «Планта Плюс»	114

18. Е. С. Папшева, А. С. Гордиенко. Применение методов искусственного интеллекта при мониторинге территорий	121
19. А. И. Подлегаев, В. В. Селифанов. Аудит информационной безопасности в оплотехнических системах, созданных с использованием технологии квантового распределения ключей	129
20. Ю. В. Понамарева, Г. В. Симонова. Область аккредитации метрологических служб как элемент управления качеством продукции	139
21. Я. В. Райхерт, Г. В. Симонова. Анализ источников несоответствий при метрологической экспертизе технической документации	143
22. К. С. Редколес, И. О. Михайлов. Концепция автоматизации складирования линз и устройство измерения их фокусных расстояний	150
23. В. С. Скориков, В. В. Селифанов. Разработка оценки эффективности для моделей систем оценки рисков оптических и оптико-электронных систем	156
24. Е. Ю. Солдатов, В. В. Селифанов. Построение системы управления инцидентами в оплотехнических системах, созданных с использованием технологии квантового распределения ключей	165
25. Д. Х. Таргын, И. Н. Карманов. Методы аутентификации и авторизации в государственных приложениях	172
26. М. И. Сиротина, К. Черкасова. Возможности применения искусственного интеллекта при мониторинге городских территорий	176
27. А. В. Шуверов, Е. А. Усанькова. Управление наукоемкой продукцией: стратегии, практики, тенденции и прогнозы будущего	180
28. В. К. Голубцов, М. М. Шляхова. Разработка нейросетевой модели для автоматической классификации объектов на основе данных лазерного сканирования	186
29. Е. С. Мишечкин, М. П. Егоренко, Н. А. Гурин. Совершенствование технологии глубокого шлифования оптических деталей: анализ параметров и пути оптимизации	191
30. Р. М. Новиков, Д. Н. Титов. Сравнение эффективности алгоритмов нейросетевого анализа дефектов с применением оптической системы в контроле качества поверхности патронов	197
31. А. Ю. Солдатов, В. В. Селифанов. Оценка угроз и уязвимостей информационной безопасности в оплотехнических системах с использованием технологии квантового распределения ключей	205
32. С. С. Харченко, С. А. Арбузов. Объектно-ориентированная классификация для предварительного анализа данных воздушного лазерного сканирования	213
33. В. В. Юнеман, В. С. Ефремов. Создание 3D-модели двухдиапазонного зеркально-линзового устройства: обзор материалов и компьютерное моделирование	222

CONTENTS

1. D. M. Ageev, D. M. Nikulin. Analysis of methods for centering optical details.....	3
2. V. O. Arkhipov. Training a Neural Network to Search for People in Photos Obtained from a UAV.....	9
3. D. P. Babkina, G. V. Simonova, P. N. Burdin. Analysis of methods for forming the ends of a magnetic core.....	16
4. K. A. Bendyukov, D. M. Nikulin, N. A. Mityushenko. Development of a Stand for Monitoring the End Surfaces of Optical Fiber during Processing.....	22
5. O. I. Bolkunova. Role and importance of the risk premium in calculating the discount rate in assessing the value of a business.....	29
6. K. V. Bondarenko. Hyperspectral Instruments, Trends and Development Prospects.....	36
7. D. A. Vaulin, R. V. Grishin. Development of Automated Training Methods for Chatbots on a Universal Platform.....	46
8. I. N. Gutov, A. V. Shaburova. Methodology for creating an algorithm for calculating financial risks from information loss.....	54
9. Yu. A. Zhdanov, M. M. Shlyakhova. Training a Computer Vision Model for Forest Fire Monitoring Using Satellite Data.....	60
10. A. S. Zonov, A. V. Shaburova. Firmware Scanner for Optical Routers: Approaches to Detecting Software Implants.....	65
11. A. V. Ilnitskaya, N. V. Shestakov, G. N. Gerasimov. Search for the Most Informative Measurements in the Geodynamic GNSS Network in order to Determine the Earthquake Source Parameters (on Example of the 1995 Neftegorsk Earthquake).....	70
12. A. E. Kachurin, T. N. Khatsevich. Development of Thermostable Small-size IR Lenses with Enlarged Fields of View.....	79
13. I. S. Kovenko, A. Yu. Chermoshentsev. Assessment of Ecosystem Conditions Using Hyperspectral and Multispectral Data.....	87
14. V. A. Lazovik, I. O. Mikhailov. The concept of an observation device using a fiber optic harness.....	93
15. A. O. Malikov, S. V. Dolin. Improvement of the PPP method for processing GNSS data acquired by next-generation smartphones.....	101
16. A. A. Medvedev, D. N. Titov. Technique of Transmitting Encrypted Information by Means of Light Pulses.....	106
17. V. S. Mikhailenko, E. A. Usankova. Strategic plan for commercialization of high-tech products – mycorrhizal preparation «PlantaPkus».....	114
18. E. S. Papsheva, A. S. Gordienko. Application of Artificial Intelligence Methods for Monitoring Territories.....	121

19. A. I. Podlegaev, V. V. Selifanov. Information Security Audit in Optotechnical Systems Created Using Quantum Key Distribution Technology.....	129
20. Y. V. Ponamareva, G. V. Simonova. The scope of accreditation of metrological services as an element of product quality management.....	139
21. Ya. V. Raykhert, G. V. Simonova. Analysis of sources of inconsistencies in the metrological examination of technical documentation.....	143
22. K. S. Redkoles, I. O. Mikhailov. Concept of automation of lens storage and device for measuring their focal lengths.....	150
23. V. S. Skorikov, V. V. Selifanov. Development of an Effectiveness Evaluation for Risk Assessment Models of Optical and Optoelectronic Systems	156
24. E. Yu. Soldatov, V. V. Selifanov. Building an incident management system in optotechnical systems created using quantum key distribution technology.....	165
25. D. H. Targyn, I. N. Karmanov. Methods of Authentication and Authorization in Government Applications.....	172
26. M. I. Sirotina, K. Cherkasova. Possibilities of using artificial intelligence for monitoring urban areas.....	176
27. A. V. Shuverov, E. A. Usankova. Life High-Tech Products: Strategies, Practices, Trends and Forecasts of the Future.....	180
28. V. K. Golubtsov, M. M. Shlyakhova. Development of a Neural Network Model for Automatic Object Classification Based on LiDAR Data.....	186
29. E. S. Mishechkin, M. P. Egorenko, N. A. Gurin. Improving the Technology of Deep Grinding of Optical Parts: Parameter Analysis and Optimization Paths.....	191
30. R. M. Novikov, D. N. Titov. Comparison of Efficiency of Algorithms of Neural Network Analysis of Defects with the use of Optical System in Controlling the Quality of the Surface of Cartridge Casings.....	197
31. A. Yu. Soldatov, V. V. Selifanov. Assessment of Threats and Vulnerabilities of Information Security in Optotechnical Systems Using Quantum Key Distribution Technology.....	205
32. S. S. Kharchenko, S. A. Arbuzov. OBIA-classification for Preliminary Analysis of Airborne Laser Scanning Data.....	213
33. V. V. Yuneman, V. S. Efremov. Dual-spectrum optical system of a video camera for access control security systems based on key points of the face.....	222

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 6

Магистерская научная сессия

«ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУКЕ»

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *А. П. Бочарникова*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 25.08.2025. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 13,42. Тираж 34 экз. Заказ 97.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.