

## **Элементы визуализации при обследовании опасных производственных объектов с использованием беспилотного летательного аппарата**

А.Е. Козлова<sup>1</sup>, М.Ю. Наркевич<sup>2</sup>, О.С. Логунова<sup>3</sup>, К.Е. Шахмаева<sup>4</sup>

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3109-2185, [kozlova-ann99@yandex.ru](mailto:kozlova-ann99@yandex.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6608-8293, [narkevich\\_mu@mail.ru](mailto:narkevich_mu@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7006-8639, [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru)

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0001-8041-9853, [kseniyashakhmaeva@yandex.ru](mailto:kseniyashakhmaeva@yandex.ru)

### **Аннотация**

В работе рассматривается возможность применения визуализации при подготовке задания по фронтальному обследованию поверхности опасных промышленных объектов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Исследования базируются на результатах экспериментального обследования зданий и сооружений крупного металлургического предприятия России. В качестве исходных данных использованы фотографии зданий и сооружений, полученные с использованием фотокамеры беспилотного летательного аппарата, и их чертежи. При построении 3D-модели использовались возможности Autodesk AutoCAD и Autodesk Revit. При построении 2D-информационной модели использовано совмещение 3D-модели и фотографий объекта. Полученные 3D-модели и 2D-модели включены в структуру полетной карты как части прикладной цифровой платформы в автоматизированной системе принятия решений при экспертной оценке соответствия технического состояния опасного производственного объекта нормативным требованиям. Нарушение нормативных требований влечет возникновение аварийных ситуаций и инцидентов на промышленном предприятии. Элементы визуализации позволяют повысить достоверность информации, поступающей в базу данных цифровой платформы для мониторинга состояния зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

**Ключевые слова:** автоматизированная система экспертной оценки, элементы визуализации, 3D-модель объекта, 2D-модель объекта, совмещение моделей, структура полетной карты.

## **1. Введение**

За весь период 2021 года согласно государственной статистике Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) количество введенных зданий всех типов, а именно здания административного типа, жилые здания, коммерческие здания, промышленные здания, здания сельскохозяйственного типа составили 31252 единиц, при этом промышленные здания составили 5948 единиц, а именно 19%. За период января-июля 2022 года количество введенных зданий составило 15436 объектов, из которых 4113 зданий принадлежат к промышленному сектору, а это 26,6% [1]. При этом на основе статистических данных известно, что количество объектов, которые выработали свой ресурс, но продолжают эксплуатироваться, составляет 75% и более [2].

Широкое распространение ИТ-технологий по областям экономики увеличило использование новых технических средств для сбора информации. Всё более

популярным для этих целей становится применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей визуализацией объектов реального мира. БПЛА – летательный аппарат без экипажа на борту, обладающий разной степенью автономности: от управляемых дистанционно до полностью автоматических и имеющих различия по конструкции и назначению. БПЛА управляется дистанционно, в большинстве случаев это происходит с помощью персонального компьютера или смартфона, на которые передаются все данные, полученные с видео устройств БПЛА [3]. С помощью БПЛА выполняется сбор и регистрация информации в различных сферах: сельское хозяйство [4, 5], медицина [6, 7, 8], спасательные операции [9, 10], охрана объектов [11, 12], строительство [13, 14, 15] и др.

Более подробно стоит рассмотреть применение БПЛА в сфере строительства. Например, БПЛА, оснащённые датчиками движения, инфракрасными камерами или камерами ночного видения, собирают данные, которые используются для удаленного контроля за процессом строительства, картирования места работы, анализа и учета данных, тепловизионной съемки, необходимой для мониторинга подземных и надземных тепловых коммуникаций, и обследования высоты постройки [16]. БПЛА также используют для создания цифровых двойников на предприятиях горнорудной промышленности. Так для сбора информации используется БПЛА, оснащенные модулем RTK. Данный модуль позволяет квадрокоптеру определять своё местоположение в пространстве, привязываться к местности и, в зависимости от высоты полета, получать значения отметок земли с некоторой погрешностью. Собранные данные обрабатываются в современных программных комплексах, например, Sarex. В результате обработки данных и создания цифрового двойника, эксперт может видеть территорию, на которой планируются проводиться работы и определять удобность данной территории [17].

Не является исключением применение БПЛА в сфере экспертизы объектов при мониторинге их технического состояния. Наличие богатого фото- и видеоматериала, полученного с помощью БПЛА, раскрывает возможности для проведения постэкспериментального исследования объектов и процессов, создания 3D-моделей для цифровых двойников и цифровой тени объектов.

Реализация обследования опасных производственных объектов требует достаточно много времени и человеческого ресурса. Несоблюдение требований промышленной безопасности влечет за собой остановку процесса производства, экономические убытки, причинение вреда окружающей среде, а также возникновению человеческих жертв. Так, например, за 2021-2022 гг. в России произошло 19 крупных аварий на промышленных предприятиях, в каждой из которых есть пострадавшие и погибшие работники самого предприятия. Поэтому качественный анализ и правильная оценка экспертизы зависит от квалификации экспертов и технологий. В этих случаях невозможно определить опасность временно скрытых дефектов, которые в дальнейшем приведут к более сложному состоянию здания или сооружения. Именно по этим причинам за последние несколько лет процесс обследования пытаются автоматизировать, используя 3D-визуализацию.

В сфере экспертизы опасных производственных объектов визуализация используется путем создания 3D-моделей. Например, один из способов анализа дефектов на зданиях и сооружениях заключается в создании 3D-модели с помощью лазерного сканирования [18, 19]. На первом этапе данного способа проводится лазерное сканирование сооружения, в результате которого получают «облако точек», каждая из которых имеет XYZ-координаты. Далее это «облако точек» конвертируют в высокоточную геометрическую CAD-модель здания. Визуализация также используется для картографии местностей, труднодоступных или масштабных мест [20].

Помимо лазерного сканирования здания, используется информационная модель здания – Building Information Model (BIM). Информационная модель зданий и сооружений участвует практически во всём жизненном цикле проекта, охватывая не

только планирование и проектирование, но и управление затратами, процесс строительства, эксплуатации объекта и т.д.

Общая проблема, рассматриваемая в данном исследовании, заключается в повышении промышленной безопасности предприятий. Целью исследования является повышение достоверности информации, полученной с использованием БПЛА для принятия решений о техническом состоянии опасных производственных объектов в автоматизированной системе экспертной оценки.

Коллективом авторов работы проведены предварительные исследования, в которых:

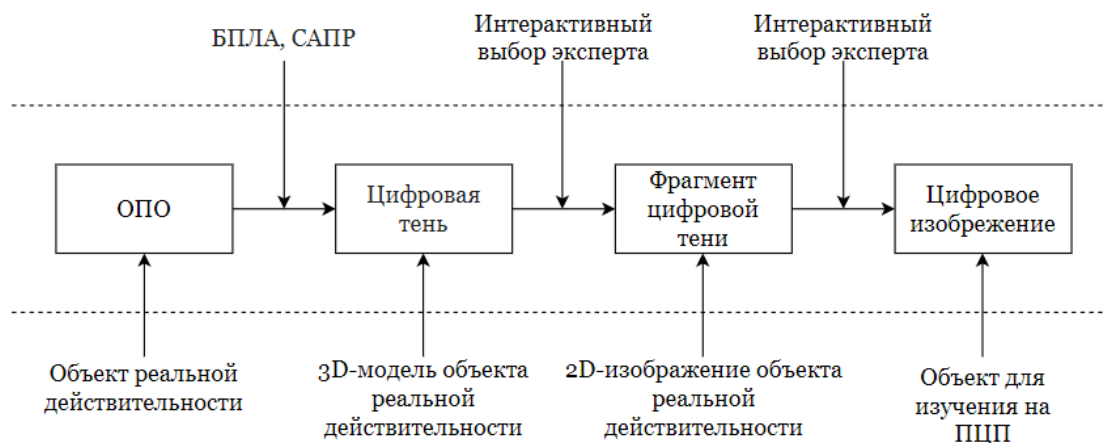
- определены вызовы использования визуальной информации при экспертизе опасных производственных объектов [21];
- определена рациональная траектория движения БПЛА в соответствии с задачами исследования [22];
- определены основные алгоритмы обработки визуальной информации и, в зависимости от решаемой задачи, применение пороговых, шаблонных и нейросетевых технологий [23].

Объектом исследования является автоматизированная система для оценки соответствия технического состояния опасных производственных объектов на основе графической информации об уровне развития визуально оцениваемых разрушений.

Одной из задач автоматизированной системы экспертной оценки является построение полетной карты задания, которая должна давать визуальное представление изучаемого объекта и позволять в интерактивном режиме задавать траекторию полета БПЛА на изображении этого объекта.

## 2. Методика формализации объектов реального мира для перехода к прикладной цифровой платформе

В ходе реализации автоматизированной системы экспертной оценки авторами работы спроектирована и разработана прикладная цифровая платформа (ПЦП), включающая 10 программных модулей [24]. Исходными данными для работы программных модулей являются изображения элементов опасных производственных объектов, полученные с помощью технических средств, включая фотокамеры БПЛА, после применения методики формализации. Схема методики приведена на рис. 2.



**Рисунок 2** – Схема методики формализации элементов опасных производственных объектов к объекту изучения на прикладной цифровой платформе: ОПО – опасный производственный объект

Суть методики состоит в переходе от объекта действительной реальности к возможному цифровому объекту, который используется прикладной цифровой платформой.

На прикладной цифровой платформе определены две роли: технолог и эксперт. Технолог производит подготовку информации с использованием возможностей ПЦП для экспертной оценки. В функции технолога входят: получение информации о состоянии элемента ОПО с помощью БПЛА и передача их на ПЦП для формирования цифровой тени. Используя цифровую тень, эксперт определяет фрагменты, которые подвергаются тщательному исследованию и передаются как цифровые изображения на ПЦП в качестве исходных данных в комплекс программных модулей.

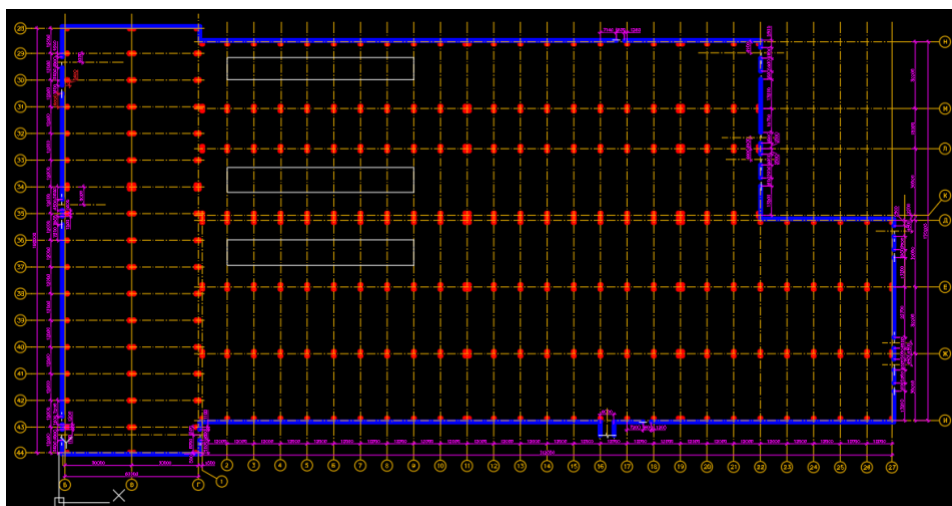
Для построения и визуализации 3D-модели опасного производственного объекта выбраны методы, позволяющие совместно использовать чертежи объектов и их фотографии. Для реализации методов использовалось прикладное программное обеспечение:

- Autodesk AutoCAD для коррекции чертежа, расчета численные характеристик (высота, длина и ширина) таких объектов, как стены, окна и двери, лестничные пролеты;
- Autodesk Revit для создания 3D-модели объекта;
- Adobe Photoshop для создания цифровой тени.

## **2.1 Описание исходных данных для визуализации результатов обследования**

Исходными данными для визуализации результатов обследования промышленных зданий и сооружений беспилотным летательным аппаратом являются фотографии и чертежи объектов.

Чертеж объекта получен с помощью программного обеспечения Autodesk AutoCAD. На чертеже определены все основные числовые характеристики (высота здания, размеры дверных проемов, размеры несущих и ненесущих стен). Помимо основных характеристик на чертеже были обозначены основные оси. Такие оси называют координационные или разбивочные оси. Они обозначаются штрихпунктирной линией, которая проходит через всё здание (план, фасад, разрез), деталь или элемент. На чертеже, используемом для опытной эксплуатации, было построено 55 разбивочных осей, разделяющих чертеж по горизонтали и вертикали, что представлено на рис. 3. Данные оси имеют буквенное обозначения (Б-Н) и числовые (1-44).



**Рисунок 3 – План здания ЛПЦ-8 ПАО ММК**

Фотографии здания используются для достижения адекватности 3D-модели. Под адекватностью модели подразумевается совпадение внешнего вида, параметров и характеристик с оригинальным сооружением. Фотографии сгруппированы в соответствии с разбивочными осями для правильного расположения окон, дверей и производственных лестниц. Примеры фотографий представлены на рис. 4 и рис. 5.



**Рисунок 4** – Фасад здания ЛПЦ-8  
(разбивочные оси И-Д)



**Рисунок 5** – Фасад здания ЛПЦ-8  
(разбивочная ось Н)

## **2.2 Методика 3D-визуализация промышленных зданий и сооружений по проектной/технической документации**

Для 3D-визуализации объекта использовано программное обеспечение Autodesk Revit. После редактирования чертежа файл с ним импортировался в Revit для процесса проектирования модели.

Процесс создания 3D-модели включает в себя следующие этапы:

- 1) построение основных Y и X-осей, которые являются основанием для стен;
- 2) создание шаблонов несущих и ненесущих стен, корректировка соответствующих значений толщины;
- 3) подключение библиотек, которые включают в себя объекты (двери, окна, лестничные проемы, колонны), необходимые для создания 3D-модели здания или сооружения, приближенного к оригинальному зданию;
- 4) проектирование стен, размещение окон и дверей в соответствии с чертежом и фотографиями здания или сооружения.
- 5) конструирование потолка и крыши. Сначала на основе внешних стен проектируется потолок. После чего поверх него накладывается крыша, задается её форма и вид покрытия;
- 6) проектирование лестничных проемов, являющихся частью фасада здания и находящиеся вне самого здания;
- 7) переход рабочей области из 2D-вида в трехмерный вид и его настройка: возможность менять расположение модели относительно центральной оси и настраивать окружающую обстановку.

Цифровая тень здания или сооружения – это виртуальная цифровая 2D-модель здания или сооружения, используемая для интеграции работы различных инженерных систем, например, освещения, климатических условий, охранно-пожарной системы и т.д. Цифровая тень использует трехмерные модели с заданными параметрами, но при этом не способна прогнозировать то, что может случиться с изделием при определенных условиях эксплуатации. Таким образом, цифровая тень должна обладать возможностью предсказать поведение реального объекта только в тех условиях, в которых осуществляется сбор данных, не оказывая влияния на эти данные.

В общих случаях цифровая тень создается путем соединения 2D-данных оригинала с его 3D-моделью. В рамках этой работы отобранные фотографии фасада оригинального здания наложены на фасады 3D-модели с четырех сторон: северной, южной, западной и восточной. Для лучшей демонстрации адекватности 3D-модели у наложенных фотографий уменьшается степень прозрачности. После проектирования 3D-модели объекта проводился анализ фотографий, и создавалась цифровая тень для анализа степени дефектов на фасаде.



### 3. Результаты исследования

#### 3.1. Описание пилотного объекта

Одним из пилотных объектов, выбранных для исследования, явилось здание листопрокатного цеха № 8 (ЛПЦ-8) ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», который является одним из крупнейших предприятий России и ежегодно выпускает от 10 до 12 млн тонн стали. Объект предназначен для осуществления технологических процессов по производству металлопродукции гнутого профиля. Здания введено в эксплуатацию в 1975 году. ЛПЦ-8 является опасным производственным объектом II класса опасности (опасные производственные объекты высокой опасности).

Конструктивная схема здания – металлический рамно-связевый каркас. Стеновое ограждение представляет собой навесные шлакотермозитобетонные стеновые панели размером 6000×1200×240 мм и 6000×1800×240 мм. Крепление панелей к каркасу здания принято гибким, обеспечивающим независимость продольных деформаций панелей и каркаса здания. Крепление предусмотрено в четырёх точках. Ворота и двери встроенных помещений металлические. Полы состоят из металлических и керамических плит и бетона.

«Полезная» площадь фронтального обследования – поверхность элемента опасного производственного объекта (здания, сооружения или технического устройства), исключая недоступные для контроля с помощью БПЛА и неинформативные области.

Здание главного корпуса участка гнутых профилей ЛПЦ-8 строилось в две очереди:

- первая очередь: поперечные пролеты «Б – В», «В – Г» в осях «34 – 44» и продольные пролеты «Д – Е», «Е – Ж», «Ж – И» в осях «1 – 27»;
- вторая очередь: поперечные пролеты «Б – В», «В – Г» в осях «28 – 34» и продольные пролеты «К – Л», «Л – М», «М – Н» в осях «1 – 22».

Объект экспертизы представляет собой одноэтажное, многопролетное производственное здание со встроенными помещениями, разделенное продольными и поперечными деформационными швами на 6 температурных блоках.

Общая длина здания - 372,0 м, в том числе длина двух поперечных пролетов – 192 м, ширина – 60 м, длина трех продольных пролетов первой очереди строительства – 312 м, ширина – 90 м, второй очереди, соответственно, 252 м и 78 м. Ширина пролета «Л – М» - 18 м, остальных пролетов цеха – 30,0 м. Высота в коньке фонаря поперечного пролета «В – Г» – 21,600 м, пролета «Д – Е» - 19,850 м, продольных пролетов «К – Л» и «М – Л» в осях «1 – 11» - 19,200 м. Площадь застройки – 60 860,0 м<sup>2</sup>; строительный объем – 1 123 850 м<sup>3</sup>.

#### 3.2. Визуализация моделей пилотного объекта

Процесс визуализации 3D-модели здания разделен на три этапа: подготовка рабочей области, проектирование 3D-модели, визуализация 3D-модели.

**Этап 1. Подготовка рабочей области.** После создания файла проекта импортируется чертеж с AutoCAD, и настраиваются основные оси и уровни. Для импорта готового чертежа используется инструмент «Импорт из форматов САПР». При импортировании необходимо указать те единицы измерения, которые используются при дальнейшем проектировании. Так как чертеж импортируется со смежного программного обеспечения, все числовые значения сохраняются.

Для построения основных осей используется инструмент «Сетка», находящийся на панели «Архитектура». Оси автоматически нумеруются, начиная со значения 1, но нумерацию можно изменить или поменять на буквенные обозначения.

Уровнями называются ограниченные горизонтальные плоскости, которые служат для координации привязываемых к уровням элементов, например, крыши, полы и

потолки. Чаще всего уровни используются, если 3D-модель имеет несколько этажей. Для добавления уровня используется инструмент «Уровень». После назначения числового значения уровня и его названия новый элемент появляется в панели «Диспетчер проектов».

Данный этап работы также включает в себя поиск и установку необходимых семейств. Семейство представляет собой библиотеку, которая включает в себя необходимые элементы для детальной визуализации проекта: виды стен, крыш, потолков, материалы, двери, окна, лестничные проемы, колонны и т.д. Семейства бывают двух видов: системные, то есть встроенные, и семейства компонентов (загружаемые). Для того чтобы 3D-модель здания ЛПЦ-8 была адекватной, установлены семейства окон и дверей, визуально приближенные к оригиналу. На этом этап подготовки рабочей области для дальнейшего проектирования заканчивается.

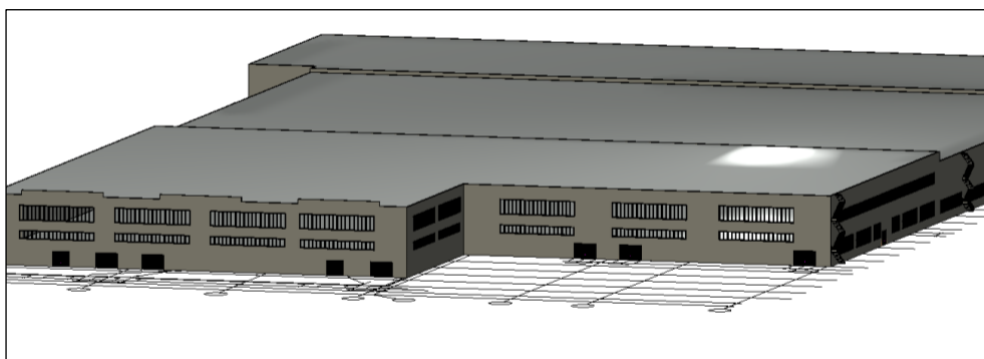
**Этап 2. Проектирование 3D-модели.** Для постройки стен используется инструмент «Стена» на панели инструментов «Архитектура». Каждой стене необходимо задать значение толщины. Для этого в панели «Свойства» выбранной стены необходимо взаимодействовать с элементом «Изменить тип». В открывшемся окне изменить числовое значение в пункте «Ширина» и сохранить изменения. Высота стены настраивается в выпадающем меню на панели инструментов в пункте «Высота». Также данное значение можно изменять в панели «Свойств».

После построения несущих и ненесущих стен происходит процесс построения потолка с помощью инструмента «Потолок» на панели «Архитектура». Границы потолка задаются несколькими способами: по стенам и с помощью рисования эскиза. Рисование эскиза используется только в тех случаях, когда потолок имеет необычное дизайнерское решение. Поверх потолка строится крыша с помощью инструмента «Крыша» на панели «Архитектура». Крыша строится по контуру стен и произвольно с помощью инструмента «Рисование». В рамках этой работы крыша является плоской.

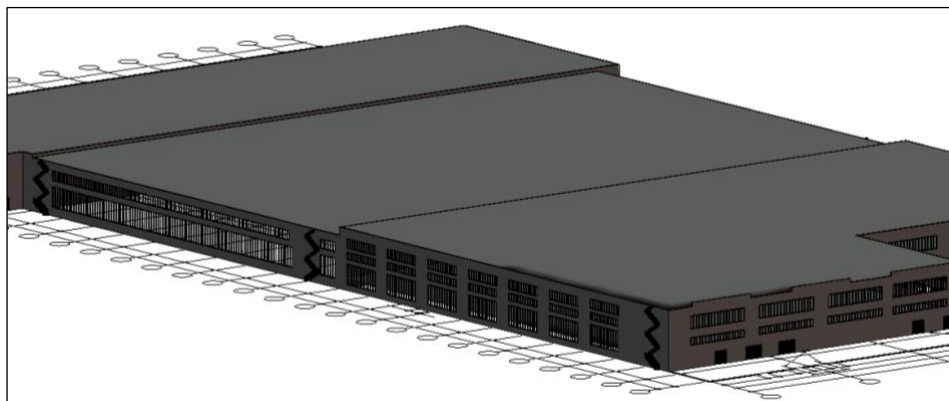
Размещение на модели окон, дверей и лестничных проемов осуществляется с помощью инструментов «Окна», «Двери» и «Лестница» соответственно. Все эти инструменты находятся на панели «Архитектура». Размещение данных элементов осуществляется по чертежу и фотографиям оригинального здания, благодаря чему сохраняется адекватность модели.

**Этап 3. Настройка 3D-области.** После построения здания на вкладке «Вид» - панель «Создание» - раскрывающийся список «3D-вид» - «3D-вид по умолчанию» рабочее пространство преобразуется в 3D-вид. В данной рабочей области можно настраивать фоны для 3D-вида, небо, освещение, размещение модели. Для выбора фона 3D-вида, неба и освещения необходимо воспользоваться панелью «Визуальный стиль», инструмент - «Параметры отображения». Для вращения фигуры в правом верхнем углу представлен инструмент вращения.

В результате выполнения всех трех этапов создана 3D-модель здания ЛПЦ-8, которая представлена на рис. 6 и рис. 7.



**Рисунок 6 – Визуализация 3D-модели здания ЛПЦ-8 (1)**



**Рисунок 7 – Визуализация 3D-модели здания ЛПЦ-8 (2)**

Наличие 3D-модели позволило выполнить построение информационной тени объекта. Информационная тень создавалась с помощью наложения фотографий фасада оригинального здания на фасад 3D-модели. Для демонстрации адекватности 3D-модели уменьшается прозрачность фотографии оригинального здания до значения 75-80%. Два совмещенных изображения объединяются в один проект для изменения краев изображения. Примеры созданных информационных теней здания ЛПЦ-8 в рамках этой работы представлены на рис. 8 и рис. 9.



**Рисунок 8 – Информационная тень ЛПЦ-8 (1)**



**Рисунок 9 – Информационная тень ЛПЦ-8 (2)**

### **3.3. Применение 3D-и 2D моделей визуализации в карте полетов БПЛА**

Выделяют два вида БПЛА: программируемые и управляемые с помощью пульта управления. Первый тип дронов имеет специальное программное обеспечение, на основе которого пишется код для управления самим дроном. Программируемые дроны позволяют снять с оператора или пилота часть задач по управлению в режиме реального времени. Но, несмотря на это, приоритет отдается дронам с пультом управления, так как полет данного типа дронов изменятся в режиме реального времени с помощью пульта управления, и именно такие дроны используются при неблагоприятных погодных условиях или при исследовании труднодоступных мест или мест, в которых присутствует большое количество преград для полета. При этом стоит отметить, что использование БПЛА на пульте управления предоставляет



возможность автоматизации. Для этого применяется полетная карта. Полетная карта БПЛА предназначена для формирования маршрута движения дрона (от одной точки к другой) при исследовании определенной области. В рамках данной работы полетная карта БПЛА для фронтального обследования выстраивается на основе фасада здания с масштабной сеткой, построенной по методике, разработанной авторами, и описанной в работе [22].

Так как опытная эксплуатация в рамках данного исследования является частью проекта по фронтальному обследованию фасада зданий или сооружений промышленного типа ПАО «ММК», то модуль создания полетной карты представлен в виде Web-приложения. Основные роли, затрагиваемые при построении карты полета: менеджер и технолог-пилот. Экранная форма менеджера представлена на рис. 10.

**Рисунок 10** – Экранная форма постановки задачи на создание полетной карты

На рис. 10 введены обозначения: 1 – область определения параметров полета, данные для которой считываются с базы данных; 2 – область визуализации 3D-модели; 3 – область визуализации 2D-модели и траектории полёта; 3.1 – номер формы на карте интерфейсов; 4 – область определения параметров полета: расстояние (значение вводится пользователем) и даты (считываются с базы данных); 5 – область функциональных кнопок.

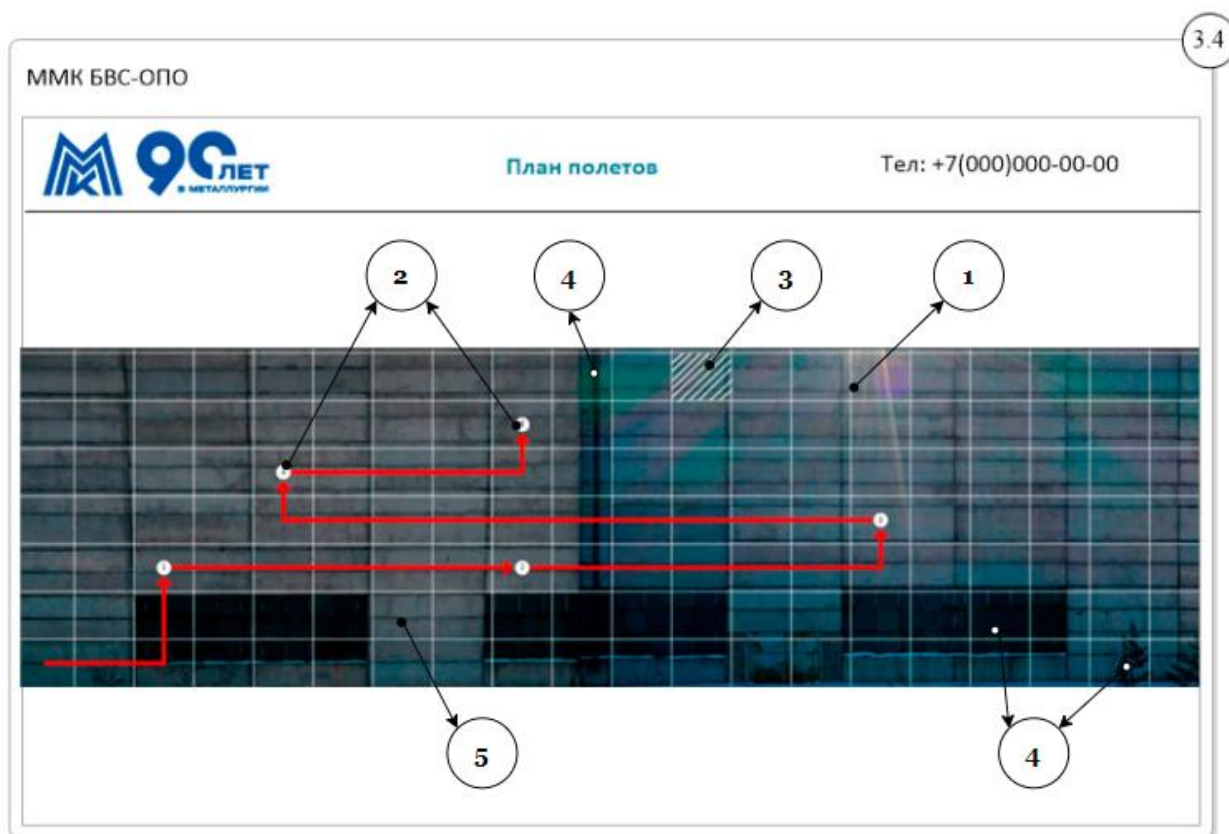
На форме, приведенной на рис. 10, пользователю (менеджеру) представляется 3D-модель обследуемого здания и информационная тень одной из сторон фасада здания, для которого планируется полет. Менеджер определяет расстояние от места запуска БПЛА до объекта исследования. После нажатия кнопки «Начало» появляется форма для обозначения зон исследования фасада. Каждая ячейка сетки захватывается в кадре с заданного расстояния согласно техническим характеристикам камеры по методике, приведенной в работе [23].

Менеджеру в интерактивном режиме предоставляется возможность определить ячейки сетки, для которых должна быть проведена съемка поверхности. Каждая выделенная ячейка нумеруется в соответствии с порядком выбора. Если возникает

необходимость удалить одну из ячеек, то по нажатию левой кнопкой мыши с номером зоны ячейка удаляется, а все ранее выставленные зоны перенумеровываются. После выделения необходимых ячеек выстраивается карта полета от одной точки исследуемой области к другой. Необходимо учесть, что траектория полета всегда строится с нижнего левого угла и проходит сначала по оси X, а после – по оси Y. Пример выстроенной карты полета представлен на рис. 11.

На рис. 11 введены обозначения: 1 – сетка; 2 – номера позиций; 3 – ячейка кадра; 3.4 – номер формы на карте интерфейсов; 4 – неинформационные элемент; 5 – полезная площадь.

Изображение 2D-модели с траекторией полета возвращается на форму полетной карты, по которой формируется задание на исполнение пилоту.



**Рисунок 11** – Спроектированная карта полета в Web-приложении

## 4. Заключение

1. Анализ областей применения беспилотных летательных аппаратов показал, что их использование позволяет упростить и автоматизировать круг задач, которые решаются с использованием графической информации и технологий визуализации. Одним из направлений деятельности промышленной безопасности является проведение экспертизы опасных промышленных объектов, при которой производится сбор визуальной информации с применением БПЛА. Использование технических средств, установленных на БПЛА для фотографирования внешних поверхностей объектов, позволяет сформировать базу данных изображений.

2. На основе совмещения изображений реальных объектов и их чертежей стало возможным создание 3D-моделей и 2D-моделей, которые используются при формировании документации для построения заданий полетов в интерактивном режиме.

3. В дальнейшем полученные результаты планируется интегрировать в систему проведения экспертизы опасных производственных объектов при определении

заданий полетов на обследование. В дополнение к вышесказанному планируется развитие данного исследования для построения оптимальной траектории полёта с ограничениями по времени и протяженностью траектории.

4. Результатом проделанного исследования является полетная карта, составленная на основе цифровой тени. Полетная карта используется для дальнейшего запуска БПЛА и сбора данных о состоянии фасада зданий и сооружений промышленного типа.

## **Финансирование**

Работа выполняется при финансовой поддержке ПАО «ММК» согласно договору №247715 от 05.07.2021 г. между ПАО «ММК» и ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» «Разработка и применение методик контроля территорий, зданий и сооружений ПАО «ММК» с использованием беспилотных воздушных судов (БВС)».

## **Список литературы**

1. Количество введенных зданий / [Электронный ресурс] // ЕМИСС. Государственная статистика : [сайт]. — URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43296>.
2. Махутов Н. А., Четверик Н. П., Ханухов Х. М. Промышленная безопасность и мониторинг технического состояния зданий и сооружений // Безопасность труда в промышленности, №10, 2008, С. 64-69.
3. Василин Н. Я. Беспилотные летательные аппараты. М. : Попурри, 2007, С. 98-105.
4. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра, №2, 2019, С. 47-51. — DOI 10.7242/2658-705X/2019.2.5.
5. Kim J., Kim S., Ju C., Son H. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications // IEEE Access, 2019, С. 1-17. — DOI 10.1109/ACCESS.2019.2932119.
6. Рославцева С. А., Жулев А. И. Перспектива применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для целей медицинской дезинсекции // Национальные приоритеты России, №3 (42), 2021, С. 250-252.
7. Laksham K. B. Unmanned aerial vehicle (drones) in public health: A SWOT analysis // Family Medicine and Primary Care, 2019, pp. 342-346. — DOI 10.4103/jfmpe.jfmpe\_413\_18.
8. Thiels C., Aho J., Zietlow S., Jenkins D. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Medical Product Transport // Air Medical Journal, 2014, pp. 104-106. — DOI 10.1016/j.amj.2014.10.011.
9. Polka M., Ptak S., Kuziora L. The Use of UAV's for Search and Rescue Operations // Procedia Engineering, 12th international scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport, №192, 2017, pp. 748-752. — DOI 10.1016/j.proeng.2017.06.129.
10. Abhijith V., Parvathy B., Vismaya Dev G. H., Unnikrishnan R.S., Praveen K. R., Vivek A. Unmanned Aerial Vehicle for Search and Rescue Mission // 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2020, pp. 684-687. — DOI 10.1109/ICOEI48184.2020.9143062.
11. Жаринов Д. А. О возможности применения беспилотных летательных аппаратов для охраны военных аэродромов // Воздушно-космические силы. Теория и практика, №5, 2018, С. 54-59.
12. Blistanova M., Blistan P. Support for Protection of the Large Object Using UAVs // Advances in Military Technology, №11, 2017, pp. 227-237. — DOI 10.3849/aimt.01159.
13. Носков И. В., Носков К. И., Тиненская С. В. Дрон-технологии в строительстве — современные решения и возможности // Вестник евразийской науки, №5, 2020, С. 27.

14. Volkan A., Ulubeyli S., Kazaz A. Unmanned aerial vehicles in the construction industry: applications and implications // 4th International Conference Energy & Engineering Congress, 2019, pp. 490-500.
15. Tatum M. C., Lui J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction // Procedia Engineering. Creative Construction Conference, № 196, 2017, pp. 167-175. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.07.187.
16. Магомедов, А. К. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов, на разных стадиях жизненного цикла зданий и сооружений // Вопросы устойчивого развития общества, №7, 2022, С. 736-740. – EDN IJWYHE.
17. Сербин, С. Д., Смирнова О.А. Создание цифровых двойников на предприятиях горнорудной промышленности // Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022) : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием, Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022, С. 541-544. – DOI 10.18720/IEP/2021.4/165. – EDN DOSOTI.
18. Ефремов Р. Б., Пшидаток С. К. Создание 3D-модели фасада при помощи наземного лазерного сканирования // Вопросы развития современной науки и техники, №2, 2021, С. 38-43.
19. Ткачева А. А., Данилин И. М. Использование данных лазерного сканирования в моделировании лесных ландшафтных сцен // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии, №6, Т. 10, 2017, С. 727-740. – DOI 10.17516/1999-494X-2017-10-6-727-740.
20. Лурье И. К., Прохорова Е. А., Семин В. Н., Ушакова Л. А. Картографирование сети железных дорог для комплексной оценки развития транспортной сети России // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Наука и образование: Сборник материалов III всероссийской научно-практической конференции, 2019, С. 289-292.
21. Корниенко В. Д., Ежов Г. А., Наркевич М. Ю., Логунова О. С. Классификация исходных данных для интеллектуальной системы экспертной оценки визуально определяемых дефектов и повреждений // Вестник Череповецкого государственного университета, №6 (111), 2022, С. 53-64. – DOI 10.23859/1994-0637-2022-6-111-4.
22. Наркевич М. Ю., Логунова О. С., Корниенко В. Д., Калитаев А. Н., Суровцов М. М., Луганская Д. А., Чернышева А. С. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, №1, Т. 20, 2022, С. 50-60. – DOI 10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60.
23. Корниенко В. Д., Наркевич М. Ю., Логунова О. С., Козлова А. Е., Зайцев И. П. Методика сбора и обработки информации для контроля состояния территории, зданий и сооружений на опасных производственных объектах металлургического предприятия // Электротехнические системы и комплексы, №4(57), 2022, С. 76-87. – DOI 10.18503/2311-8318-2022-4(57)-76-87.
24. Наркевич М. Ю., Логунова О. С., Аркулис М. Б., Сагадатов А. И., Климов С. С., Кабанова В. В., Николаев А. А., Дерябин Д. И. Прикладная цифровая платформа для оценки динамики качества опасных производственных объектов на металлургическом предприятии: структура и алгоритмы // Вестник Череповецкого государственного университета, №5(110), 2022, С. 29-48. – DOI 10.23859/1994-0637-2022-5-110-3.

## Visualization Elements in the Examination of Dangerous Production Facilities using an Unmanned Aircraft

A.E. Kozlova<sup>1</sup>, M.Yu. Narkevich<sup>2</sup>, O.S. Logunova<sup>3</sup>, K.E. Shakhmayeva<sup>4</sup>

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Nosov Magnitogorsk State Technical University", Magnitogorsk, Russia

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-3109-2185, [kozlova-ann99@yandex.ru](mailto:kozlova-ann99@yandex.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6608-8293, [narkevich\\_mu@mail.ru](mailto:narkevich_mu@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7006-8639, [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru)

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0001-8041-9853, [kseniyaashakhmaeva@yandex.ru](mailto:kseniyaashakhmaeva@yandex.ru)

### **Abstract**

The paper considers the possibility of using visualization when preparing a task for frontal surface examination of hazardous industrial facilities using unmanned aerial vehicles. The research is based on the results of an experimental survey of buildings and structures of a large metallurgical enterprise in Russia. As initial data, photographs of buildings and structures obtained using a camera of an unmanned aerial vehicle and their drawings were used. When building a 3D model, the capabilities of Autodesk AutoCAD and Autodesk Revit were used. When building a 2D information model, a combination of a 3D model and a photograph of the object was used. The resulting 3D and 2D models are included in the structure of the flight chart as part of an applied digital platform in an automated decision-making system for expert assessment of the technical condition compliance of a hazardous production facility with regulatory requirements. Violation of regulatory requirements entails the occurrence of emergencies and incidents at an industrial enterprise. Visualization elements allow increasing the reliability of information entering the database of expert information.

**Keywords:** automated system of expert evaluation, visualization elements, 3D object model, 2D object model, model matching, flight map structure.

### **References**

1. Number of commissioned buildings // EMISS. State statistics (<https://www.fedstat.ru/indicator/43296>)
2. Makhutov N. A., Chetverik N. P., Khanukhov Kh. M. Promyshlennaya bezopasnost' i monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy [Industrial safety and monitoring of the technical condition of buildings and structures] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, № 10, 2008, pp. 64-69 [in Russian].
3. Vasilin N. Ya. Bepilotnyye letatel'nyye apparaty [Unmanned aerial vehicles]. M. : Potpourri, 2007, pp. 98-105 [in Russian].
4. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Chashchin A. N., Zabolotnova M. V. Ispol'zovaniye bepilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaytve [The use of unmanned aerial vehicles in agriculture] // Bulletin of the Perm Federal Research Center, № 2, 2019, pp. 47-51 [in Russian].
5. Kim J., Kim S., Ju C., Son H. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications // IEEE Access, 2019, pp. 1-17.
6. Roslavl'tseva S. A., Zhulev A. I. Perspektiva primeneniya bepilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) dlya tseley meditsinskoy dezinseksii [The prospect of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the purposes of medical pest control] // National Priorities of Russia, № 3 (42), 2021, pp. 250-252 [in Russian].



7. Laksham K. B. Unmanned aerial vehicle (drones) in public health: A SWOT analysis // Family Medicine and Primary Care, 2019, pp. 342-346.
8. Thiels C., Aho J., Zietlow S., Jenkins D. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Medical Product Transport // Air Medical Journal, 2014, pp. 104-106.
9. Polka M., Ptak S., Kuziora L. The Use of UAV's for Search and Rescue Operations // Procedia Engineering, 12th international scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport, № 192, 2017, pp. 748-752.
10. Abhijith V., Parvathy B., Vismaya Dev G. H., Unnikrishnan R.S., Praveen K. R., Vivek A. Unmanned Aerial Vehicle for Search and Rescue Mission // 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2020, pp. 684-687.
11. Zharinov D. A. O vozmozhnosti primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya okhrany voyennykh aerodromov [On the possibility of using unmanned aerial vehicles for the protection of military airfields] // Aerospace Forces. Theory and Practice, № 5, 2018, pp. 54-59 [in Russian].
12. Blistanova M., Blistan P. Support for Protection of the Large Object Using UAVs // Advances in Military Technology, № 11, 2017, pp. 227-237.
13. Noskov I. V., Noskov K. I., Tinenskaya S. V. Dron-tehnologii v stroitel'stve – sovremennyye resheniya i vozmozhnosti [Drone technologies in construction - modern solutions and opportunities] // Bulletin of Eurasian Science, № 5, 2020, p. 27 [in Russian].
14. Volkan A., Ulubeyli S., Kazaz A. Unmanned aerial vehicles in the construction industry: applications and implications // 4th International Conference Energy & Engineering Congress, 2019, pp. 490-500.
15. Tatum M. C., Lui J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction // Procedia Engineering. Creative Construction Conference, № 196, 2017, pp. 167-175.
16. Magomedov A. K. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles at different stages of the life cycle of buildings and structures // Issues of sustainable development of society, № 7, 2022, pp. 736-740. – EDN IJWYHE [in Russian].
17. Serbin S. D., Smirnova O.A. Creation of digital twins at mining enterprises // Digital transformation of economic systems: problems and prospects (ECOPROM-2022): Proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference with foreign participation, St. Petersburg, November 11–12, 2022. – St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2022, pp. 541-544. – DOI 10.18720/IEP/2021.4/165. – EDN DOSOTI [in Russian].
18. Efremov R. B., Pshidatok S. K. Sozdaniye 3D-modeli fasada pri pomoshchi nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Creation of a 3D facade model using ground-based laser scanning] // Issues of the development of modern science and technology, № 2, 2021, pp. 38-43 [in Russian].
19. Tkacheva A. A., Danilin I. M. Ispol'zovaniye dannykh lazernogo skanirovaniya v modelirovaniy lesnykh landshaftnykh stsen [Use of laser scanning data in modeling forest landscape scenes] // Journal of the Siberian Federal University. Series: Technics and Technologies, № 6, Vol. 10, 2017, pp. 727-740 [in Russian].
20. Lurie I. K., Prokhorova E. A., Semin V. N., Ushakova L. A. Kartografirovaniye seti zheleznykh dorog dlya kompleksnoy otsenki razvitiya transportnoy seti Rossii [Mapping of the railway network for a comprehensive assessment of the development of the Russian transport network] // Geodesy, cartography, geoinformatics and cadastres. Science and education: Collection of materials of the III All-Russian scientific and practical conference, 2019, pp. 289-292 [in Russian].
21. Kornienko V. D., Ezhov G. A., Narkevich M. Yu., Logunova O. S. Klassifikatsiya iskhodnykh dannykh dlya intellektual'noy sistemy ekspertnoy otsenki vizual'no opredelyayemykh defektov i povrezhdeniy [Classification of initial data for an intelligent system for expert evaluation of visually determined defects and damage] // Bulletin of the Cherepovets State University, № 6 (111), 2022, pp. 53-64 [in Russian].
22. Narkevich M. Yu., Logunova O. S., Kornienko V. D., Kalitaev A. N., Surovtsov M. M., Luganskaya D. A., Chernysheva A. S. Intellektual'naya sistema prinyatiya resheniy pri otsenke

kachestva zdaniy i sooruzheniy na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh: opredeleniye trayektorii dvizheniya bespilotnogo letatel'nogo apparata [Intelligent decision-making system in quality assessment buildings and structures at hazardous production facilities: determining the trajectory of an unmanned aerial vehicle] // Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University, №1, Vol. 20, 2022, pp. 50-60 [in Russian].

23. Kornienko V. D., Narkevich M. Yu., Logunova O. S., Kozlova A. E., Zaitsev I. P. Metodika sbora i obrabotki informatsii dlya kontrolya sostoyaniya territorii, zdaniy i sooruzheniy na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh metallurgicheskogo predpriyatiya [Methods of collecting and processing information for monitoring the state of the territory, buildings and structures at hazardous production facilities of a metallurgical enterprise] // Electrical systems and complexes, № 4(57), 2022, pp. 76-87 [in Russian].

24. Narkevich M. Yu., Logunova O. S., Arkulis M. B., Sagadatov A. I., Klimov S. S., Kabanova V. V., Nikolaev A. A., Deryabin D. I. Prikladnaya tsifrovaya platforma dlya otsenki dinamiki kachestva opasnykh proizvodstvennykh ob'yektov na metallurgicheskom predpriyatii: struktura i algoritmy [Applied digital platform for assessing the dynamics of the quality of hazardous production facilities at a metallurgical enterprise: structure and algorithms] // Bulletin of the Cherepovets State University, № 5(110), 2022, pp. 29-48 [in Russian].