

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

STANDARDIZATION, CERTIFICATION AND QUALITY MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 658.562

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Калитаев А.Н., Суровцов М.М.,
Луганская Д.А., Чернышева А.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Предотвращение разрушения и аварийных ситуаций зданий и сооружений на опасных производственных объектах является вызовом для проведения непрерывного мониторинга объектов и разработки критериев оценки их качества. В настоящее время более 75% опасных промышленных объектов выработали свой ресурс, но продолжают эксплуатироваться в рабочем режиме. При этом остаются распространенными традиционные методы и способы проведения осмотра и оценки зданий и сооружений при наличии новых технологий. **Используемые методы.** Авторами в работе предлагается новый инструмент для получения информации о состоянии поверхности ограждающих конструкций зданий и сооружений на промышленном предприятии. Основным инструментом является беспилотный летательный аппарат, который позволяет получить информацию о состоянии объекта в труднодоступных местах. Использование беспилотного летательного аппарата потребовало введения понятия «полезная» площадь обследования, разработки траекторий полета, проведение пилотных испытаний и определения качественных и количественных показателей для оценки состояния поверхности ограждающих конструкций здания. **Новизна.** Алгоритм построения траектории полета беспилотного летательного аппарата отличается от ранее известных наличием «полезной» площади для исследования зданий или сооружений и исключает области, недоступные или неинформативные для наблюдения вследствие наличия растительности, близко расположенных конструктивных элементов, а также конструктивных особенностей ограждающих конструкций. **Результат.** Изучена зависимость удаления квадрокоптера от объекта исследования и «полезной» площади исследования на основе аналитической и экспериментальной информации. **Практическая значимость.** В зависимости от расстояния до наблюдаемой точки эксперт получает информацию о качестве состояния поверхности объекта. Наиболее полно представлена информация для эксперта и дальнейшей автоматизированной обработки только при минимальном расстоянии от точки исследования до камеры беспилотного летательного аппарата. Перспективным направлением развития работы является адаптация методов и методик, описанных в ранее проведенных лабораторных условиях, к полученным изображениям при проведении пилотных экспериментов, к оценке технического состояния зданий и сооружений промышленного предприятия.

Ключевые слова: оценка качества зданий и сооружений, опасный производственный объект, обследование зданий и сооружений, беспилотный летательный аппарат, траектория движения, методика построения траектории, эффект дисторсии.

© Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Калитаев А.Н.,
Суровцов М.М., Луганская Д.А., Чернышева А.С., 2022

Для цитирования

Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата / Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Калитаев А.Н., Суровцов М.М., Луганская Д.А., Чернышева А.С. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №1. С. 50–60. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING THE QUALITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES: DETERMINING THE TRAJECTORY OF THE UNMANNED AIRCRAFT

Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kornienko V.D., Kalitaev A.N., Surovtsov M.M., Luganskaya D.A., Chernysheva A.S.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Prevention of emergency situations and destruction of buildings and structures at hazardous production facilities is a challenge for continuous monitoring of such facilities and the development of criteria for assessing their quality. Currently, over 75% of hazardous industrial facilities have reached the end of their service life, but continue to be operated in a working mode. At the same time, traditional methods and techniques of inspection and evaluation of buildings and structures remain widespread in the presence of new technologies. **Methods used.** The authors propose a new tool for obtaining information about the condition of the surface of the enclosing structures of buildings and facilities at an industrial enterprise. A main tool is an unmanned aerial vehicle, which allows you to get information about the condition of facilities in hard-to-reach places. The use of such unmanned aerial vehicle required: the introduction of the concept of a "useful" survey area, the development of flight paths, pilot tests and the determination of qualitative and quantitative indicators to assess the condition of the surface of the building's enclosing structures. **Originality.** The algorithm for designing the flight path of the unmanned aerial vehicle differs from the previously known ones because of a "useful" area for the study of buildings or structures and excludes areas inaccessible or uninformative for observation due to vegetation, closely spaced structural elements, as well as design features of enclosing structures. **Result.** The authors have studied how the distance between the quadcopter and the facility under study depend on the "useful" area for the study based on analytical and experimental information. **Practical Relevance.** Depending on the distance to the observed point, an expert receives information about the quality of the surface condition of the facility. The most complete information is provided for the expert and further automated processing only at a minimum distance from the point of study to the camera of the unmanned aerial vehicle. The outlook for the development of the research is to adapt the described methods and techniques used in laboratory conditions to the images obtained during the pilot experiments, to the assessment of a technical condition of buildings and structures of an industrial enterprise.

Keywords: assessment of the quality of buildings and structures, hazardous production facility, inspection of buildings and structures, unmanned aerial vehicle, trajectory, trajectory design technique, distortion effect.

For citation

Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kornienko V.D., Kalitaev A.N., Surovtsov M.M., Luganskaya D.A., Chernysheva A.S. An Intelligent Decision Support System for Assessing the Quality of Buildings and Structures at Hazardous Industrial Facilities: Determining the Trajectory of the Unmanned Aircraft. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 1, pp. 50–60. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-50-60>

Введение

Предотвращение разрушения и аварийных ситуаций для зданий и сооружений является вызовом для проведения непрерывного мониторинга объектов и разработки критериев оценки их качества [1, 2]. Особое внимание уделяется способам получения информации о состоянии зданий и сооружений в режиме реального времени и определении динамики развития разрушения и трещинообразования поверхности ограждающих конструкций. В работе [2] авторы на основе ста-

тистических данных доказывают необходимость глобальной модернизации основных фондов опасных производственных объектов, которые выработали свой ресурс, но продолжают эксплуатироваться. Количество таких объектов составляет 75% и более. Эксплуатация таких объектов приводит к обрушению несущих строительных конструкций и, вследствие этого, к человеческим жертвам.

Особую роль в оценке состояния зданий и сооружений играют экспертные организации, работа которых опирается на нормативную базу

и информацию, полученную при обследовании объектов [3]. К информации, полученной при обследовании опасных промышленных объектов, предъявляются требования релевантности, полноты, достоверности и своевременности [4, 5]. Указанные требования определяют необходимость проведения непрерывного мониторинга объектов.

При обследовании зданий и сооружений в последнее десятилетие начали активно применяться новые технологии, основанные на информации, полученной с помощью лазерного сканирования и беспилотных летательных аппаратов [6–9].

В работе [10] выполнена классификация и систематизация нормативных документов, которые лежат в основе экспертной оценки технического состояния зданий и сооружений. Согласно этим документам, оценка состояния зданий и сооружений промышленного предприятия относится к обеспечению промышленной безопасности. Широкое распространение новых информационных технологий в области экспертных оценок, включая промышленную безопасность, делает возможным выполнить проектирование и разработку интеллектуальной системы принятия

решений при оценке состояния зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

В ходе предпроектного обследования на основе декомпозиции предметной области выявлены инструменты, средства и методы, которые необходимо использовать при разработке системы. При построении системы принятия решений о состоянии зданий и сооружений промышленного предприятия выделен этап получения графической информации в ходе обследования. В качестве инструмента получения исходной информации рассматривается визуальный осмотр экспертами и с использованием беспилотных летательных аппаратов (рис. 1), а также стационарно расположенных видеокамер [11, 12].

Привлечение практикующих экспертов на этапе разработки пилотного проекта позволяет сформировать базу знаний уникального человеческого опыта.

Привлечение новых средств для сбора информации о состоянии объекта определило четыре основных задачи (рис. 2). Среди этих задач первостепенной является определение траектории движения беспилотного аппарата, которая бы исключала дублирование и потерю информации о состоянии здания и сооружения.

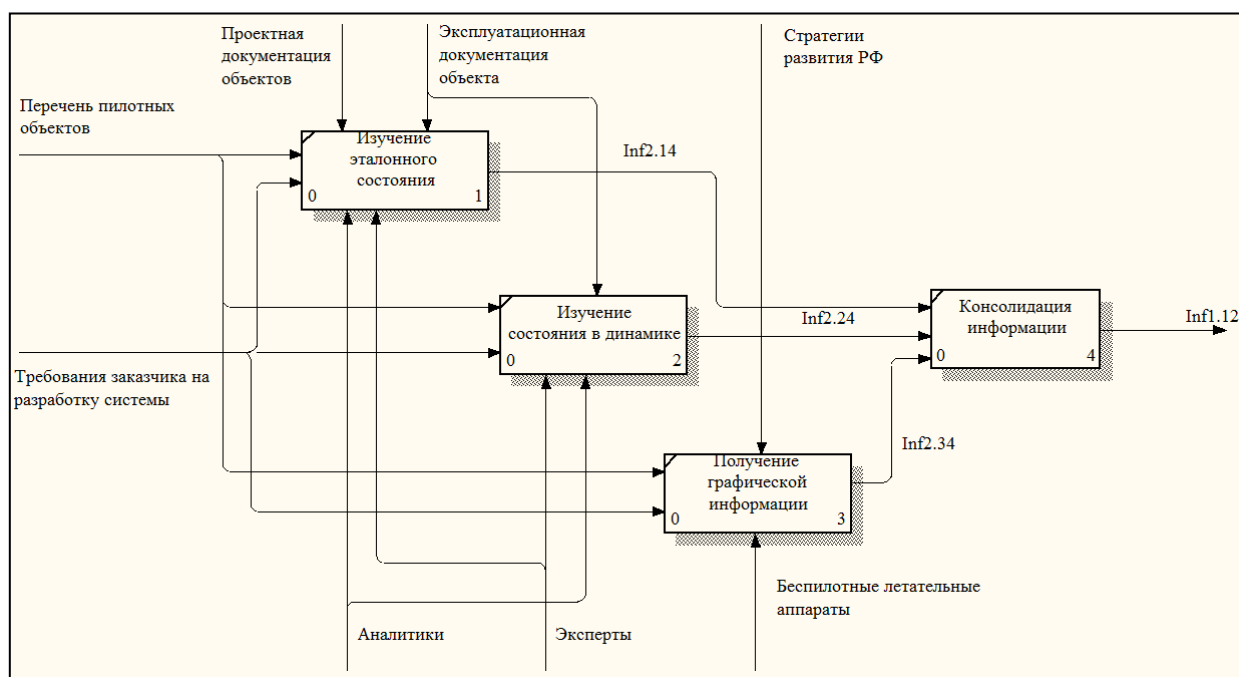


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции А3 для блока «Определение перечня информации»:

Inf2.14 – аналитическая информация об эталонном состоянии объекта на основе проектной документации;

Inf2.24 – экспертная информация о текущем состоянии;

Inf2.34 – информация из видеопотока в динамике по серии исследований

Fig. 1. Decomposition diagram A3 for the block “Determining a list of information”: Inf2.14 is analytical information about a reference state of the facility as per the design documentation; Inf2.24 is expert information about a current state; Inf2.34 is information from a video stream at runtime subject to series of studies

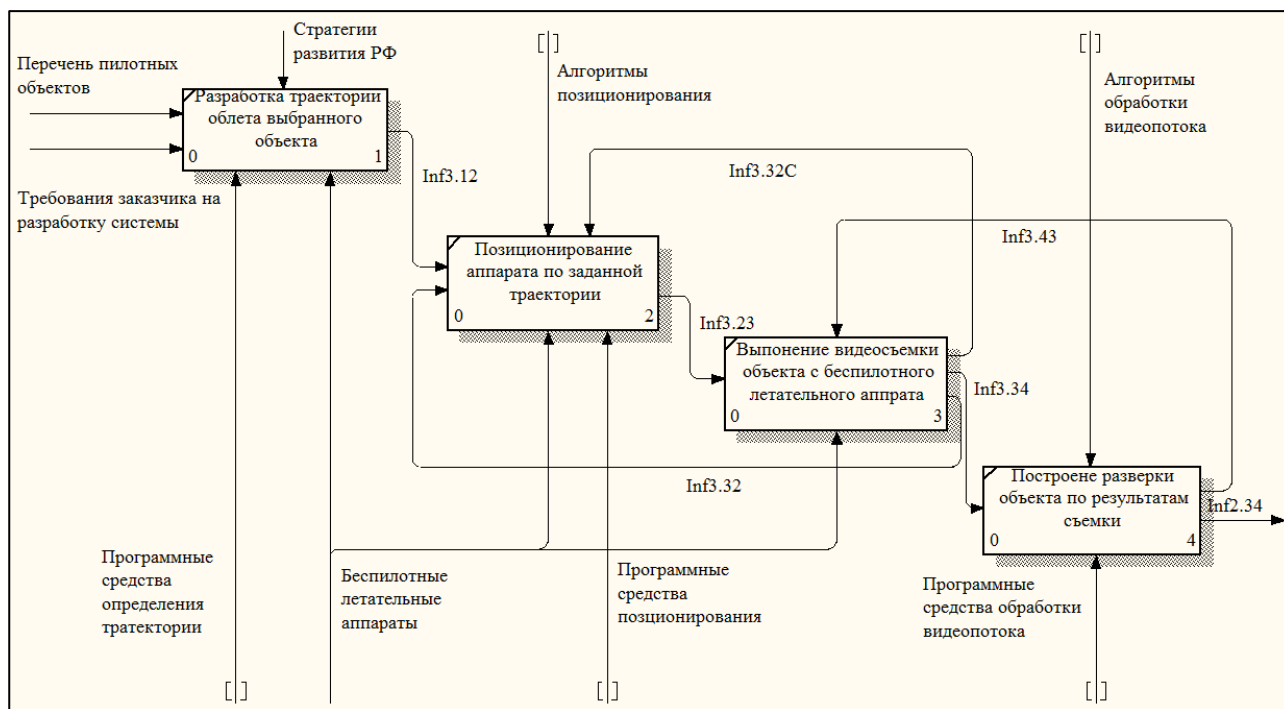


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции А4 для блока «Получение графической информации»:

Inf3.12 – математическое описание траектории движения; Inf3.23 – координаты беспилотного летательного аппарата для позиционирования при видеосъемке; Inf3.34 – видеопоток в заданный момент времени; Inf3.32 – уточнение траектории движения; Inf3.32С – указания на управление аппаратом при уточнении траектории; Inf3.43 – требования на выбор кадров из видеопотока

Fig. 2. Decomposition diagram A4 for the block “Receiving graphic information”: Inf3.12 is a mathematical description of the trajectory; Inf3.23 is unmanned aerial vehicle positioning data during video recording; Inf3.34 is a video stream in a set point of time; Inf3.32 is detailing the trajectory; Inf3.32C are references to vehicle control, when detailing the trajectory; Inf3.43 are requirements for selecting frames from the video stream

В рамках приведенного исследования предлагается и обосновывается методика построения движения беспилотного летательного аппарата при обследовании зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

Методика построения траектории

1. *Постановка задачи и определение исходных данных.* В ходе выполнения научных исследований определены пилотные объекты для проведения экспертизы по их состоянию. Перечень объектов включает: здание литейного двора доменной печи № 6; главный корпус листопркатного цеха 8 (ЛПЦ-8); здание склада № 54; здание паровоздуховной электростанции (ПВЭС); дымовая труба № 132 ПВЭС; территория ПАО «ММК» – проспект Доменщиков.

На рис. 3 представлен фасад главного корпуса ЛПЦ-8, на котором по результатам визуальной экспертной оценки обнаруживаются:

- разрушение элементов уплотнения швов навесных стеновых панелей: выпадение мастики, разрушение прокладок из упругих материалов;
- наличие трещин всех видов и направлений;
- наличие локальных разрушений поверхности стеновых панелей;

– перемещение объекта или отдельных его элементов в пространстве (угловые и линейные).

На фотографии объекта (см. рис. 3) наблюдаются:

- дисторсия, которая искажает вертикальность боковых граней объекта исследования;
- посторонние объекты в виде растительности, столба освещения, структурных элементов фасада, которые не позволят приблизить летательный аппарат к поверхности изучаемого объекта и при сегментации изображений внесут дополнительный шум;
- наличие фона, окружающего фасад здания.

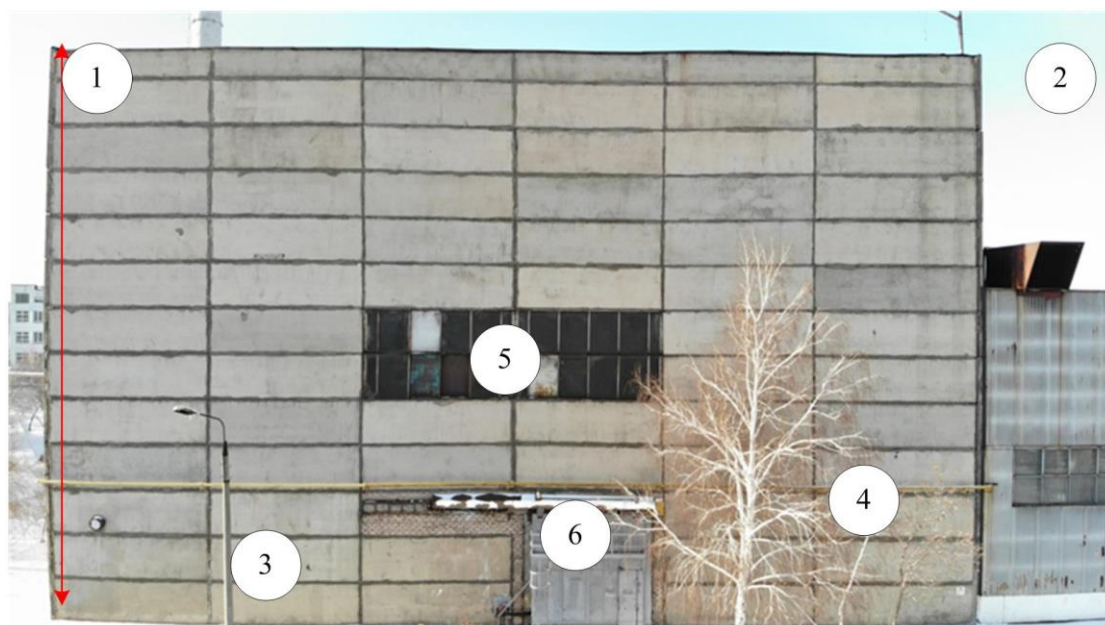


Рис. 3. Общий вид здания ЛПЦ-8: 1 – искажения за счет дисторсии; 2 – окружающий фон; 3 – столб освещения; 4 – растительность; 5, 6 – структурные элементы фасада
 Fig. 3. General view of the building of Rolling Shop No. 8: 1 are deformations due to distortion; 2 is surrounding background; 3 is a lighting column; 4 is vegetation; 5, 6 are facade structural elements

Инструментальным средством получения информации о состоянии поверхности зданий и сооружений является беспилотный летательный аппарат DJI Mavic 2 Pro, оснащенный видеокамерой с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики видеокамеры беспилотного летательного аппарата
 Table 1. Description of a camera in the unmanned aerial vehicle

Характеристика	Значение
Угол раскрытия	77°
Эквивалент формата	35×28 мм
Разрешение	20 Мп на 1 дюйм
Диапазон ISO для видео	100–6400
Диапазон ISO для фото	100–7200

Требованиями к получаемой информации о состоянии зданий и сооружений являются:

- 1) полнота – отображение фрагментов поверхности зданий и сооружений, исчерпывающее характеризующее нарушения сплошности всей поверхности и ее отдельных частей;
- 2) воспроизводимость – возможность получения информации о фрагментах поверхности зданий и сооружений с одной геопозиции.

Требование полноты определяют характеристики видеокамеры, установленной на беспилот-

ном летающем аппарате (см. табл. 1). Требование воспроизводимости определяет наличие траектории движения дрона с возможностью логирования и повторения траектории по записанному логу.

2. Математическая модель траектории движения беспилотного летательного аппарата. Для построения воспроизводимой траектории движения беспилотного летательного аппарата при фронтальном обследовании определим модель исследуемого объекта. Пусть поверхность исследуемого объекта образуем прямоугольник с эквивалентным форматом 35 × 28 мм (рис. 4).

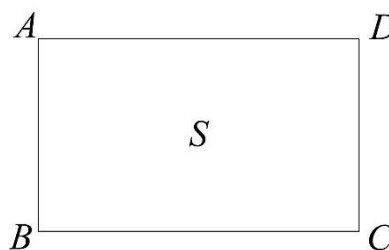


Рис. 4. Геометрическая модель исследуемого объекта
 Fig. 4. A geometrical model of the facility under study

Согласно эквиваленту формата получаем

$$\lambda = \frac{35}{28} = \frac{5}{4},$$

где λ – эквивалент формата и, следовательно,

$$\frac{AD}{AB} = \frac{5}{4}.$$

Отрезок AB ограничивает высоту обследования, отрезок AD – ширину, S – захватываемая площадь исследования.

При этом следует понимать, что прямоугольник $ABCD$ может не охватывать всю поверхность объекта, а только его фрагмент.

Точку фиксирования видеокамеры определяют два параметра – величина отрезка AB и угол раскрытия камеры (см. **табл. 1**). Получаем геометрическую модель, приведенную на **рис. 5**.

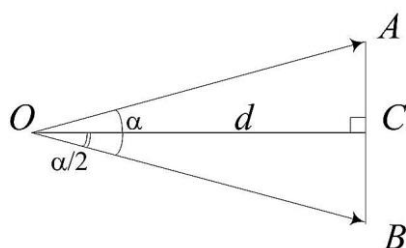


Рис. 5. Геометрическая модель объекта с углом раскрытия
Fig. 5. A geometrical model of the facility with an opening angle

На **рис. 5** введены обозначения: d – расстояние от поверхности объекта до камеры, м; α – угол раскрытия камеры, град; O – точка нахождения беспилотного летательного аппарата.

Учитывая введенные обозначения и соотношения прямоугольного треугольника, получим

$$AB = 2d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad AD = \frac{5}{2} d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Учитывая, что угол раскрытия камеры для используемого летательного аппарата составляет 77° , получим коэффициент пропорциональности, равный 0,6615, то есть соотношения примут вид

$$AB = 2 \cdot 0,6615d = 2 \cdot k \cdot d, \quad k = 0,6615; \quad (1)$$

$$AD = \frac{5}{2} \cdot 0,6615d = \frac{5}{2} k \cdot d.$$

Учитывая соотношения (1), легко определяются размеры исследуемой поверхности в зависимости от удаленности беспилотного летательного аппарата (**табл. 2**), приведены примеры определения линейных размеров исследуемого фрагмента.

Результаты расчетов, приведенные в **табл. 2**, показали, что удаленность от объекта исследования на 32 м позволяет охватить высоту в 50 м, что является достаточным для получения изобра-

жения объекта по всей его высоте. Приближение аппарата менее, чем на один метр не является целесообразным, так как фокусное расстояние камеры составляет один метр и расстояние менее 3 м является опасным для нахождения квадрокоптера. Таким образом, диапазон $d \in [3; 32]$ метра для удаления аппарата является достаточным для получения изображения всего объекта по высоте. При этом необходимо определить удаленность, при которой различимы нарушения сплошности на поверхности исследуемого объекта.

Таблица 2. Пример расчета размеров исследуемой области в зависимости от удаленности летательного аппарата от объекта исследования

Table 2. Calculations of sizes of the area under study depending on the distance between the unmanned aerial vehicle and the facility under study (for reference)

d , м	AB , м	AD , м
1	1,59	1,99
2	3,18	3,98
4	6,36	7,95
8	12,73	15,91
16	25,45	31,82
32	50,91	63,63

3. Алгоритм построения траектории движения беспилотного летательного аппарата при обследовании поверхности ограждающих конструкций зданий и сооружений опасного производственного объекта. Рассмотрим фасад здания опасного производственного объекта, поверхность которого образует прямоугольник (см. **рис. 3**). Для обследования объекта необходимо выделить «полезную» площадь обследования, которая может быть доступна для сбора информации с помощью квадрокоптера. На **рис. 3** из рассмотрения должны быть исключены области: 2 – фон; 4 – растительность вокруг здания, которая не позволяет к нему приблизиться. Остальные области могут быть включены в исследование.

Алгоритм построения траектории включает следующие шаги:

- 1) определение «полезной» площади фронтального исследования по изображению полной поверхности объекта, исключая недоступные и неинформативные области;
- 2) выбор точки отсчета и введение системы

координат (рис. 6) согласно размерам области исследования и итерационного исследования в области заданной точки;

3) определение размера масштабной сетки в соответствии с характеристиками видеокамеры, в частности угла раскрытия и эквивалента формата (1);

4) определение «узловых» точек для сбора информации и направления движения беспилотного летательного аппарата.

Особое внимание в этом алгоритме заслуживает п. 3 по определению масштабной сетки. В табл. 3 приведены итерационные шаги ее построения.

Таким образом, вся полезная площадь исследования разбивается масштабной сеткой, которая определена углом раскрытия видеокамеры и высотой здания. Направление полета задается на карте «полезной» площади в виде лога при указании последовательности точек. На рис. 6 пока-

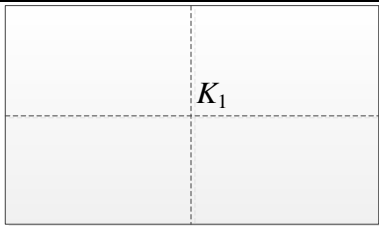
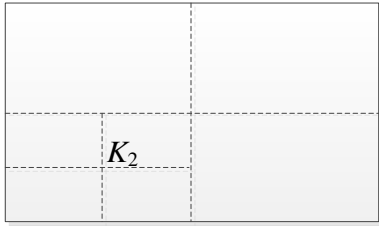
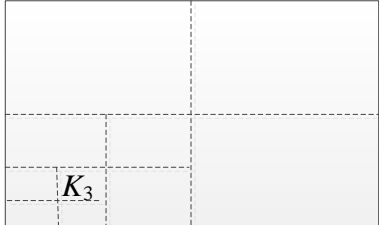
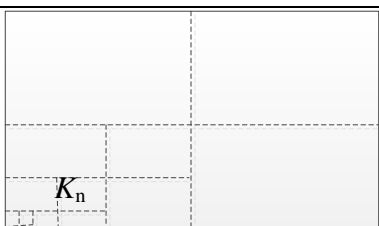
заны две предполагаемые траектории полета с указанием узлов фиксирования информации.

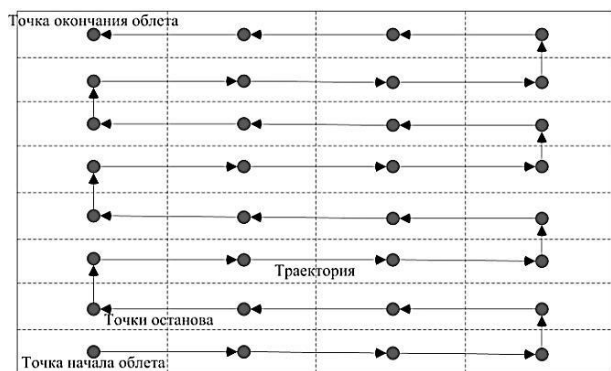
Непрерывная траектория (рис. 6, а) позволяет сформировать видеопоток или фотопоток в разных направлениях (слева направо, справа налево) и вызывает сложности при склеивании развертки полезной площади исследования. Траектория с разрывом требует серийности в траектории и холостого хода беспилотного летательного аппарата (рис. 6, б). Формирование точечной эталонной траектории формируется при первом обследовании здания или сооружения. Каждый из описанных видов траектории опробован при обследовании пилотных объектов.

При использовании непрерывной траектории выявлены проблемы записи и позиционирования аппарата по координате высоты без установки дополнительного модуля.

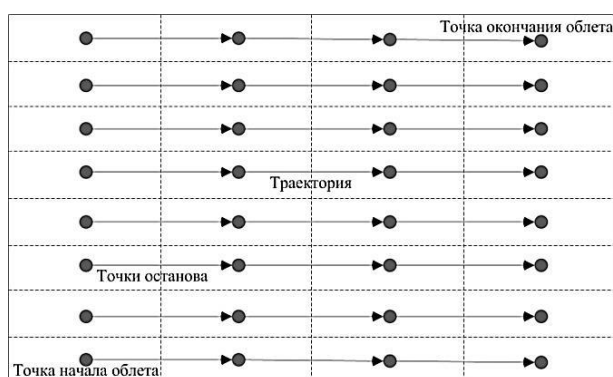
Таблица 3. Перечень итерационных шагов при построении итерационной сетки

Table 3. List of iteration steps, when generating an iteration grid

Номер шага	Вид масштабной сетки	Расстояние до объекта	Координаты узла	Назначение
1		$d_1 = \frac{AB}{2k}$	$K_1 \left(\frac{AB}{2}; \frac{AD}{2} \right)$	Точка получения начального кадра для определения полезной площади исследования
2		$d_2 = \frac{d_1}{2}$	$K_2 \left(\frac{AB}{4}; \frac{AD}{4} \right)$	Сокращение расстояния до объекта в два раза
3		$d_3 = \frac{d_2}{2}$	$K_3 \left(\frac{AB}{8}; \frac{AD}{8} \right)$	Сокращение расстояния до объекта еще в два раза
...
n		$d_n = \frac{d_{n-1}}{2}$	$K_n \left(\frac{AB}{2^n}; \frac{AD}{2^n} \right)$	Доказывается методом математической индукции



а



б

Рис. 6. Примеры траекторий движения беспилотного летательного аппарата по узлам масштабной сетки «полезной» площади обследования: а – непрерывная траектория; б – траектория с разрывом

Fig. 6. Examples of trajectories of the unmanned aerial vehicle by nodes of the scale grid of the “useful” area under study: а is a continuous trajectory; б is a broken trajectory

Таблица 4. Характеристики объекта исследования
T a b l e 4. Description of the facility under study

Характеристика	Расстояние до объекта, м			
	5	10	15	20
Высота «полезной» площади*	6,61	13,23	19,84	26,46
Длина «полезной» площади*	8,27	16,54	24,81	33,07
«Полезная» площадь исследования	54,7	218,8	492,2	875,16
Видимость разрушения	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая
Возможность экспертной оценки по изображению	Да	Да	Нет	Нет
Возможность количественной оценки по изображению	Да	Нет	Нет	Нет
Видимость других элементов разрушения**	Да	Нет	Нет	Нет
Отделимость трещин и следов ремонтных работ***	Да	Да	Нет	Нет

* Расчет произведен по (1). ** Мелкие трещины на поверхности панели. *** Подтеки раствора при восстановлении расшивки межпанельных швов.

Результаты экспериментального обследования пилотного объекта

В качестве первого пилотного объекта выбрано здание ЛПЦ-8 (рис. 7). При его первом обследовании выполнен съем информации с расстояний 5, 10, 15 и 20 м (рис. 8) по непрерывной траектории без точек останова (видеопоток) на высоте 12,5 м. Объектом исследования является разрушение элементов уплотнения швов навесных стеновых панелей: выпадение мастики, разрушение прокладок из упругих материалов.

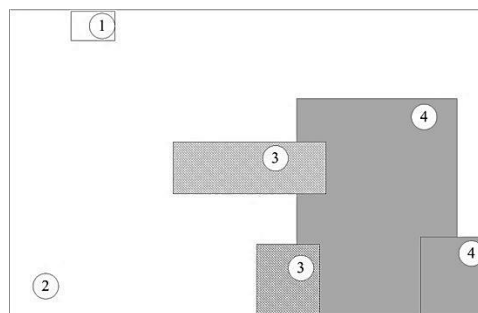


Рис. 7. Схема полезной площади при обследовании здания ЛПЦ-8: 1 – точка обследования дефектов; 2 – «полезная» площадь; 3 – конструктивные особенности здания; 4 – растительность вокруг здания

Fig. 7. Diagram of the useful area, when inspecting the building of Rolling Shop No. 8: 1 is a point of in-specting the defects; 2 is the useful area; 3 are structural features of the building; 4 is vegetation around the building

В табл. 4 приведены качественные и количественные характеристики объекта в точке исследования для каждого расстояния от здания до камеры беспилотного летательного аппарата.

Заключение

В результате исследования траектории движения беспилотного летательного аппарата при обследовании и оценке состояния поверхности здания промышленного предприятия выявлено, что:

1) в составе системы принятия решений при оценке технического состояния зданий и сооружений промышленного предприятия одно из первых мест занимает модуль подготовки информации, при получении которой для каждого объекта исследования должна быть построена траектория полета беспилотного летательного аппарата;

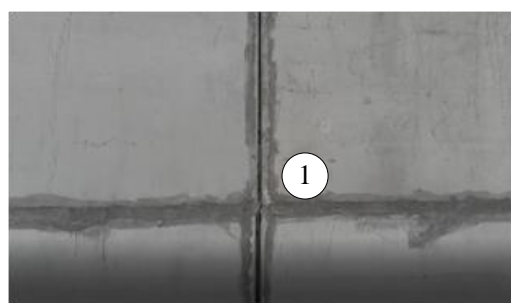
2) траектория полета беспилотного летательного аппарата строится для «полезной» площади здания и исключает области, недоступные или неинформативные для наблюдения: вследствие наличия растительности, близко расположенных конструктивных элементов, а также конструктивных особенностей ограждающих конструкций;

3) в зависимости от расстояния до наблюдаемой точки эксперт получает информацию о качестве состояния поверхности объекта; наиболее полно представлена информация для эксперта и дальнейшей автоматизированной обработки только при минимальном расстоянии от точки исследования до камеры беспилотного летательного аппарата;

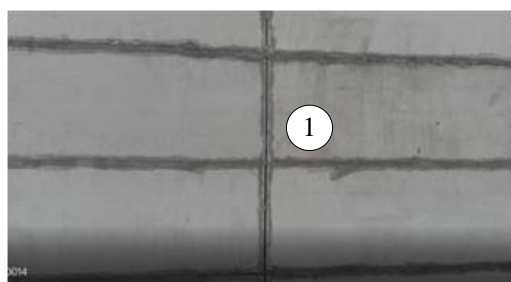
4) перспективным направлением развития работы является адаптация методов и методик, описанных в работах [10, 11], к полученным изображениям при обследовании пилотных объектов, к оценке технического состояния зданий и сооружений промышленного предприятия.

Список литературы

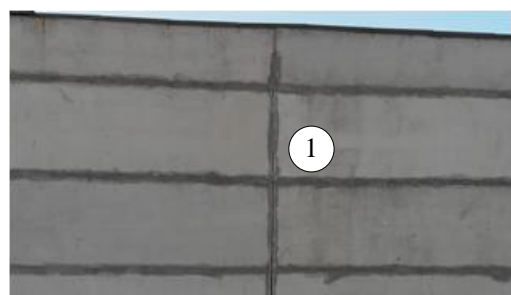
1. Кабальнова О.А., Шишкина Е.А., Зарипова Г.У. Проведение своевременного обследования зданий и сооружений промышленных объектов – мера обеспечения безопасности и предотвращения аварий на производстве // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2015. № 4. С. 198–199.
2. Махутов Н.А., Четверик Н.П., Ханухов Х.М. Промышленная безопасность и мониторинг технического состояния зданий и сооружений // Безопасность труда в промышленности. 2008. № 10. С. 64–69.
3. Бардышев О.А., Бардышев А.О. Роль экспертных организаций в обеспечении промышленной безопасности // Вестник МАНЭБ. 2018. Т. 23. № 3. С. 6–10.
4. Логунова О.С. Технология исследования информационных потоков на металлургическом предприятии // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 3. С. 32–36.



а



б



в



г

Рис. 8. Результаты обследования пилотного объекта с различных расстояний: а – расстояние 5 м; б – расстояние 10 м; в – расстояние 15 м; г – расстояние 20 м

Fig. 8. Inspection of the pilot facility from various distances: а is 5 m; б is 10 m; в is 15 m; г is 20 m

Наиболее полно представлена информация о размере и форме разрушения элементов уплотнения швов навесных стеновых панелей: выпадение мастики, разрушение прокладок из упругих материалов на минимальном расстоянии обследования (5 м).

5. Логунова О.С., Ильина Е.А., Мацко И.И. Информатика. Курс лекций. Магнитогорск, 2014. 124 с.
6. Лазерное сканирование при проведении обследований зданий и сооружений ТЭС / Манеев А.П., Середович А.В., Комиссаров А.В., Иванов А.В. // Электрические станции. 2013. № 9 (986). С. 33–37.
7. Кудасова А.С., Тютинина А.Д., Сокольников Э.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. №8 (80). С. 31–38.
8. Погорелов В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1 (40). С. 58.
9. Комбинирование методов наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для повышения эффективности контроля промышленного строительства / Гришина А.И., Рамазанов Р.Р., Глухов А.В., Левченко Е.Н. // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. № 3. С. 55–67.
10. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах / Наркевич М.Ю., Корниенко В.Д., Логунова О.С. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. № 2. С. 103–111. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-103-111
11. Логунова О.С., Наркевич М.Ю. Декомпозиция интеллектуальной системы принятия решений при оценке состояния зданий и сооружений промышленного предприятия: сбор информации // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сб. матер. X Всероссийской конференции, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. С. 143–147.
12. Качество материалов, изделий и конструкций в промышленной безопасности: эмпирическая основа / М. Ю. Наркевич, О. С. Логунова, В. Д. Корниенко и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т. 19. № 3. С. 90–101. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101
3. Bardyshev O.A., Bardyshev A.O. The role of expert organizations in ensuring industrial safety. *Vestnik MANEB* [Vestnik of the International Academy of Sciences of Ecology and Health and Safety], 2018, vol. 23, no. 3, pp. 6–10. (In Russ.)
4. Logunova O.S. Technology of research of information flows at a metallurgical enterprise. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information Technologies in Design and Production], 2008, no. 3, pp. 32–36. (In Russ.)
5. Logunova O.S., Ilyina E.A., Matsko I.I. *Informatika. Kurs lektsiy* [Information science. A course of lectures]. Magnitogorsk, 2014, 124 p. (In Russ.)
6. Maneev A.P., Seredovich A.V., Komissarov A.V., Ivanov A.V. Laser scanning during surveys of buildings and structures of thermal power plants. *Elektricheskie stantsii* [Electric Power Plants], 2013, no. 9 (986), pp. 33–37. (In Russ.)
7. Kudasova A.S., Tyutina A.D., Sokolnikova E.V. The use of unmanned aerial vehicles in construction. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2021, no. 8 (80), pp. 31–38. (In Russ.)
8. Pogorelov V.A. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in construction. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2016, no. 1 (40), p. 58. (In Russ.)
9. Grishina A.I., Ramazanov R.R., Glukhov A.V., Levchenko E.N. Combining methods of ground-based laser scanning and aerial photography from an unmanned aerial vehicle to improve the efficiency of industrial construction control. *Vektor GeoNauk* [Vector of Geosciences], 2020, vol. 3, no. 3, pp. 55–67. (In Russ.)
10. Narkevich M.Yu., Kornienko V.D., Logunova O.S. et al. Analysis of efficiency of the existing system for assessing the quality of materials, products and structures at hazardous production facilities. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2021, vol. 19, no. 2, pp. 103–111. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-103-111
11. Logunova O.S., Narkevich M.Yu. Decomposition of an intelligent decision support system, when assessing the condition of buildings and structures of an industrial enterprise: collecting information. *Kompyuternaya integratsiya proizvodstva i IPI-tekhnologii: sb. mater. X Vserossiyskoy konferentsii* [Computer Integration of Production and CALS Technologies: Proceedings of the 10th All-Russian Conference]. Orenburg: Orenburg State University, 2021, pp. 143–147. (In Russ.)
12. Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kornienko V.D. et al. The quality of materials, products and structures in industrial safety: an empirical basis. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2021, vol. 19, no. 3, pp. 90–101. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101

References

1. Kabalnova O.A., Shishkina E.A., Zaripova G.U. Conducting a timely inspection of buildings and structures of industrial facilities is a measure to ensure safety and prevent accidents at work. *Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh obektov* [Examination of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities], 2015, no. 4, pp. 198–199. (In Russ.)
2. Makhutov N.A., Chetverik N.P., Khanukhov Kh.M. Industrial safety and monitoring of the technical condition of buildings and structures. *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Occupational Safety in Industry], 2008, no. 10, pp. 64–69. (In Russ.)

Поступила 21.10.2021; принята к публикации 12.01.2022; опубликована 25.03.2022
Submitted 21/10/2021; revised 12/01/2022; published 25/03/2022

Наркевич Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительных конструкций, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Логунова Оксана Сергеевна – доктор технических наук, профессор, директор института строительства, архитектуры и искусства, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Корниенко Владимир Дмитриевич – эксперт в области промышленной безопасности по зданиям и сооружениям 1-й категории, ведущий инженер в области экспертизы промышленной безопасности научно-исследовательского института промышленной безопасности, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: volodya.kornienko2319@yandex.ru. ORCID 0000-0002-0637-5765

Калитаев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: a.kalitaev@gmail.com. ORCID 0000-0002-5984-967X

Суровцов Максим Михайлович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой управления недвижимостью и инженерных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: surovtsov.maxim@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3871-7755

Луганская Дарья Алексеевна – студентка, кафедра бизнес-информатики и информационных технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: dluganskaya00@mail.ru

Чернышева Александра Сергеевна – магистрант, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: ehridas@mail.ru

Mikhail Yu. Narkevich – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Building Structures, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Oksana S. Logunova – DrSc (Eng.), Professor, Director of the Institute of Construction, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Vladimir D. Kornienko – Category 1 Expert in Industrial Safety of Buildings and Structures, Lead Engineer in Industrial Safety Examination of the Research Institute of Industrial Safety, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: volodya.kornienko2319@yandex.ru. ORCID 0000-0002-0637-5765

Alexander N. Kalitaev – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: a.kalitaev@gmail.com. ORCID 0000-0002-5984-967X

Maksim M. Surovtsov – PhD (Eng.), Head of the Department of Property Management and Engineering Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: surovtsov.maxim@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3871-7755

Darya A. Luganskaya – student, Department of Business Informatics and Information Technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: dluganskaya00@mail.ru

Alexandra S. Chernysheva – Master's Student, Department of Design of Buildings and Building Structures, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: ehridas@mail.ru