

Научная статья

УДК 629.5.067.8

doi: 10.34987/2712-9233.2024.23.46.001

О эффективности применении систем видео детекции для обнаружения пламени

*Сергей Сергеевич Жданкин¹
Кару Викторович Тандин¹
Никита Сергеевич Изупов²*

¹ПСЧ 1 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Республике Алтай

²Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Автор ответственный за переписку: *Никита Сергеевич Изупов, ron1230@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема скорости обнаружения пожара стандартными пожарными извещателями. Для решения этой проблемы проводилось исследование с использованием технологии машинного зрения. В рамках эксперимента были отобраны видеозаписи, на которых алгоритм анализировал начало и развитие пожара, а также измерял время его обнаружения. Результаты эксперимента показали обнадеживающие перспективы применения машинного зрения для повышения скорости и точности обнаружения пожара. Полученные результаты подчеркивают эффективность и дают количественную оценку применения технологии машинного зрения в области обеспечения пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, здания, детекция пламени, искусственный интеллект, python, openCV

Для цитирования: Жданкин С.С., Тандин К.В., Изупов Н.С. О эффективности применении систем видео детекции для обнаружения пламени // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2024. № 3 (15) С.79-86. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2024.23.46.001>

On the effectiveness of video detection systems for flame detection

*Sergey S. Zhdankin¹
Kary V. Tandin¹
Nikita S. Izupov²*

¹Fire Department 1 of the Fire Department of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia for the Republic of Altai

²Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

Corresponding author: *Nikita S. Izupov, ron1230@yandex.ru*

Abstract. This article examines the problem of the speed of fire detection by standard fire alarms. To address this issue, a study was conducted using machine vision technology. Within the framework of the experiment, video recordings were selected, on which the algorithm analyzed the onset and development of a fire, as well as measured the time of its detection. The results of the experiment demonstrated promising prospects for the application of machine vision to enhance the speed and accuracy of fire detection. The findings

underscore the effectiveness and provide a quantitative assessment of the use of machine vision technology in the field of fire safety

Keywords: fire safety, buildings, flame detection, artificial intelligence, python, openCV

For citation: Zhdankin S.S., Tandin K.V., Izupov N.S. On the effectiveness of video detection systems for flame detection // Actual problems of safety In the technosphere 2024. No. 3 (15). P. 79-86. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2024.23.46.001>

Внедрение искусственного интеллекта в область обеспечения пожарной безопасности актуальный шаг, который откроет новые возможности. Современные системы на базе искусственного интеллекта (далее - ИИ) могут эффективно анализировать данные в реальном времени, автоматически обнаруживать определенные образы на видео и фото. Это позволяет в автоматическом режиме анализировать видеопотоки и обнаруживать образы, схожие с признаками пожара. В теории это может повысить скорость обнаружения пожара и даст возможность своевременно принять меры.

В [1] описаны стадии пожара, модель развития и динамику роста опасных факторов пожара (далее - ОФП). Рисунок 1 иллюстрирует пламенное горение в помещении, которое можно считать закрытым, за исключением щелей возле пола и потолка. ГОСТ [1] определяет понятие начальной стадии пожара, которая ограничена 5-ю минутами свободного горения. Из рисунка видно, что уже после 4-й минуты развития пожара происходит ускорение роста ОФП.

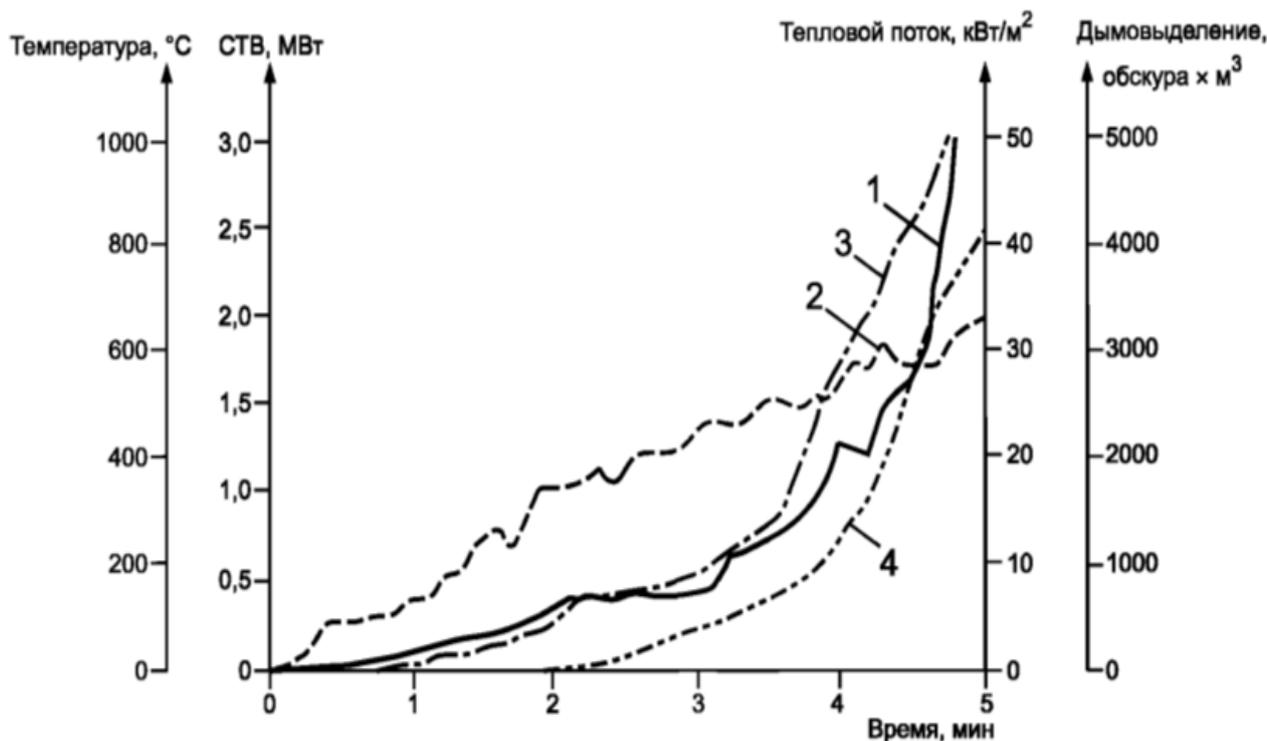


Рис. 1. Иллюстрация изменения параметров вследствие развития пожара

где:

- 1 - изменение скорости тепловыделения;
- 2 - температуры газа под потолком;
- 3 - теплового потока на пол;
- 4 - полное дымовыделение.

Исследование эффективности обнаружения пожара наиболее распространенными дымовыми пожарными извещателями показало, что среднее время обнаружения пожара составляет 3 мин. 10 сек. [2]. Статистика причин гибели людей на пожаре говорит, что 66% погибают в следствии отравления продуктами горения [3,4], это может свидетельствовать о том, что люди не успевают эвакуироваться из опасной зоны.

Таким образом ключевое направление - это повышение скорости обнаружения пожара. В качестве инструмента, который может позволить оперативно обнаружить возникший пожар – предлагается использовать технологию машинного зрения. Возросший интерес к данной технологии подтверждается количеством публикаций, согласно открытой базе данных [5] после 2020 года происходит активный рост публикаций. Ниже приведены графики роста количества публикаций: по ключевым словам машинное зрение (рисунок 3) и по ключевым словам машинное зрение + пожарная безопасность (рисунок 4).



Рис. 2. Основные причины гибели людей на пожаре

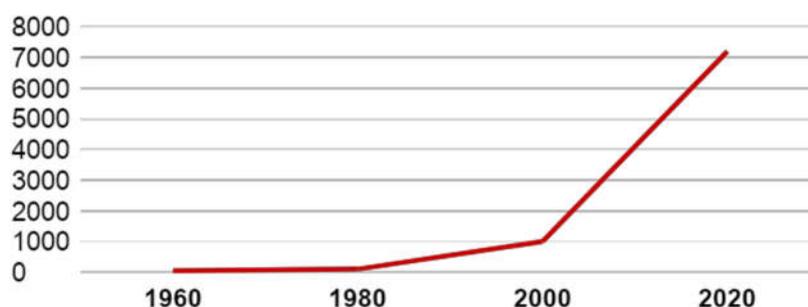


Рис.3. Количество публикаций по ключевым словам: машинное зрение

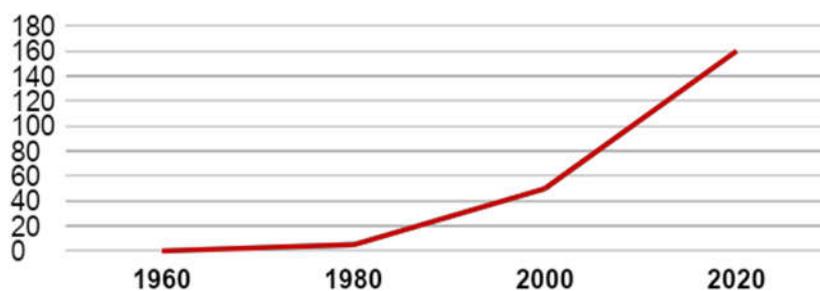


Рис. 4. Количество публикаций по ключевым словам: машинное зрение, пожарная безопасность

Цель работы

Определить на сколько эффективно будет справляться с задачей алгоритм обнаружения пламени, построенный на общедоступной библиотеке машинного зрения OpenCV и языке программирования Python. Провести сравнение результатов с имеющимся исследованием скорости обнаружения пожара при помощи стандартных пожарных извещателей [2].

Методы исследования

В данном исследовании для обнаружения пламени использовалась технология машинного зрения с применением библиотеки OpenCV. За основу взята модель, обученная на наборе изображений пламени, находящаяся в открытом доступе [6], обучение происходило с помощью алгоритмов каскадов Хаара [7].

В качестве материалов для проверки работы алгоритма отобрано 5 видео. Для чистоты эксперимента расположения пламени в кадре подобрано разное, видео разного разрешения и освещенности. Каждое видео анализировалось 3 раза и отмечалось время начала обнаружения с момента зажигания (появления пламени). Отобранное видео № 4 снято с разных ракурсов, однако крупные планы были вырезаны. Остальные видео сняты статично без смены ракурса. Видео подобраны таким образом, что течение времени развития пожара в видео соответствует реальному.

Таблица 1. Отобранные видеоматериалы.

<u>№</u> <u>п/п</u>	<u>Описание видео</u>	<u>Иллюстрация</u>
1.	<p>На видео запечатлен момент начала крупного пожара на складе компании ОРТО в Самаре 13 июля 2020 года, на складах хранилась лакокрасочная и полиэтиленовая продукция. На кадрах видно, что в помещении шел рабочий процесс, внутри находились несколько человек. Огонь ярко вспыхнул, люди не сразу заметили произошедшего.</p> <p>Качество видео: 1920x1080 Размер области пламени: до 0,3% от изображения Расположение области пламени: под верхней границей кадра Освещенность: средняя Характер пламени: турбулентное горение.</p>	
2.	<p>На видео проводится эксперимент, демонстрируется скорость развития пожара в офисном помещении.</p> <p>Качество видео: 480x360 Размер области пламени: до 3% от изображения Расположение области пламени: близка к нижнему левому краю кадра Освещенность: хорошая Характер пламени: ламинарное, переходящее в турбулентное горение.</p>	
3.	<p>На видео проводится эксперимент, загорается электроприбор, заряжающийся на кровати. Видео демонстрирует скорость распространения пожара в спальном помещении.</p> <p>Качество видео: 1280x720 Размер области пламени: до 7% от изображения Расположение области пламени: правый край кадра Освещенность: хорошая Характер пламени: ламинарное, переходящее в турбулентное горение.</p>	
4.	<p>30 марта 2018 в британском городе Летчурт мужчина оставил ноутбук заряжаться в офисе на ночь. В скором времени ноутбук взорвался и стал причиной пожара в здании.</p> <p>Качество видео: 1920x1080 Размер области пламени: до 4 % от изображения Расположение области пламени: по центру Освещенность: отсутствует освещенность (присутствует пересвет, световое пятно) Характер пламени: турбулентное горение.</p>	

5.	<p>Еще одно видео на котором воссоздается пожар в комнате, источником которого послужила свеча, упавшая на диван.</p> <p>Качество видео: 360x240 Размер области пламени: до 4% от изображения Расположение области пламени: близко к центральному расположению кадра Освещенность: хорошая Характер пламени: ламинарное, переходящее в турбулентное горение.</p>	
----	--	--

Проведение эксперимента

Проведено 5 опытов, в соответствии с количеством отобранных видео каждое видео проанализировано три раза. Засекалось время с момента появления первых признаков пожара, до обнаружения алгоритмом. Процесс эксперимента показан на рисунке 5. Результаты эксперимента продемонстрированы в таблице 2. Информация о времени обнаружения признаков пожара пожарными извещателями различных конфигураций приведена в таблице 3.

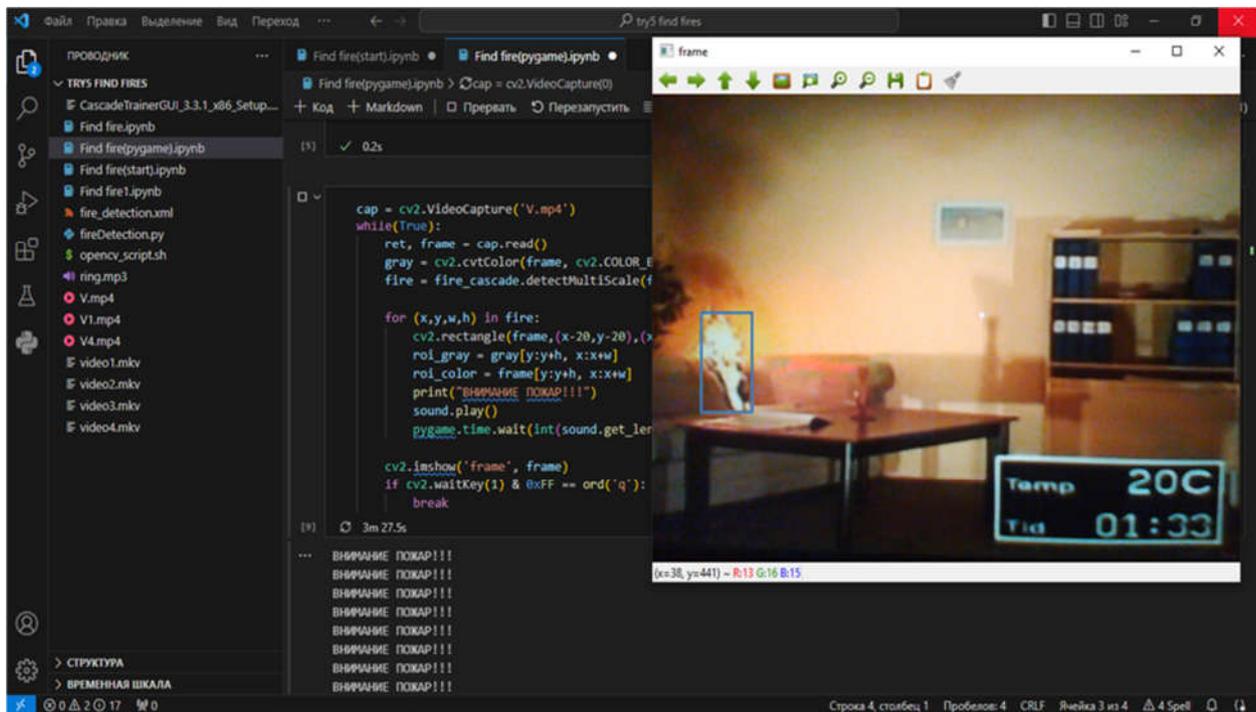


Рис 5. Демонстрация работы алгоритма.

Таблица 2. Результаты эксперимента

№ п/п	Видео	Время анализа видео	Время обнаружения пожара	Количество сигналов о пожаре
1.	Пожар на складе в Самаре	30с	нет	0
		30с	нет	0
		30с	нет	0
Огонь не обнаружен				
2.	Имитация бытового пожар 1(диван)	1:37с	на 48с	25
		1:37с	на 55с	26
		1:37с	на 51 с	23

Алгоритм начал обнаруживать пламя после развития до 35-40 см (3-5 % от изображения). Также стоит отметить, что обнаружение происходило после того, как огонь перешел в турбулентный режим.				
3.	Имитация бытового пожара (на кровати)	1:15с	на 44 с	25
		1:15с	на 43 с	23
		1:15с	на 47 с	25
Обнаружение происходило на моментах интенсивного горения при размере пламени от 40 и более сантиметров (3-5 % от изображения).				
4.	Самовозгорание электроприбора в офисе	20 с	на 14 с	2
		20 с	на 14 с	1
		20 с	на 14 с	0
Сложность детекции огня возникла из-за пересвета объектива камеры огнем в темной комнате, обнаружение происходило в момент перехода от ночного режима камеры к дневному. Именно в этот момент на кадре был отчетливый контур пламени. И алгоритм смог распознать огонь в 2-х из 3-х раз.				
5.	Имитация бытового пожара (диван)	45с	на 32с	11
		45с	на 35с	12
		45с	на 33с	8
Как и в случае со вторым видео, алгоритм начал обнаруживать пламя после развития до размера 35-40 (3-5 % от изображения).				

Таблица 3 Скорости обнаружения признаков пожара различных конфигураций пожарных извещателей [2].

Вид извещателя	Установка чувствительности, дБ/м	Время срабатывания, с						Среднее значение, с
		236	229	236	230	224	238	
Дымовой пороговый традиционный	—	236	229	236	230	224	238	232
Комбинированный пороговый (дым + тепло)	—	216	208	218	219	205	226	215
Мультикритериальный аналоговый с чувствительностью № 3	0,13	133 (60)	127 (58)	135 (62)	136 (62)	125 (57)	141 (63)	133 (61)
Дымовой с установкой чувствительности № 1	0,06	126	121	129	131	120	135	127
Дымовой с установкой чувствительности № 2	0,1	190	182	193	195	180	199	190
Дымовой с установкой чувствительности № 3	0,13	221	217	226	227	215	230	223
Дымовой с установкой чувствительности № 4	0,17	290	282	293	295	280	300	290
Общее среднее время, с								191

Результаты

В ходе эксперимента с 3-мя отобранными видео алгоритм справился (опыт № 2, 3, 5), при проведении опыта № 4 алгоритм один раз не справился, но стоит отметить что отсутствовали четкие границы пламени, на видео присутствовали белые пятна.

Стоит отметить, что положительные результаты появляется при достижении зоны горения 3% от изображения. Среднее время обнаружения пожара с помощью технологии машинного зрения составило 38 секунд, что в 5 раз быстрее среднего времени обнаружения пожара заводскими пожарными извещателями и в 1,6 раза быстрее времени получения сигнала «Внимание» мультикритериального пожарного извещателя.

Результаты показали, что при хорошем освещении и четкой границе пламени работа алгоритма эффективнее чем в сумерках. При анализе видео 4 алгоритм дал результат, только в том случае, когда камера снизила чувствительность к свету и появились четкие очертания пламени. В темное время суток и полумраке алгоритм работает нестабильно.

Алгоритм не смог найти пожар на отобранном видео 5, порог обнаружения пламени при проведении исследования составил 3% от размера изображения.

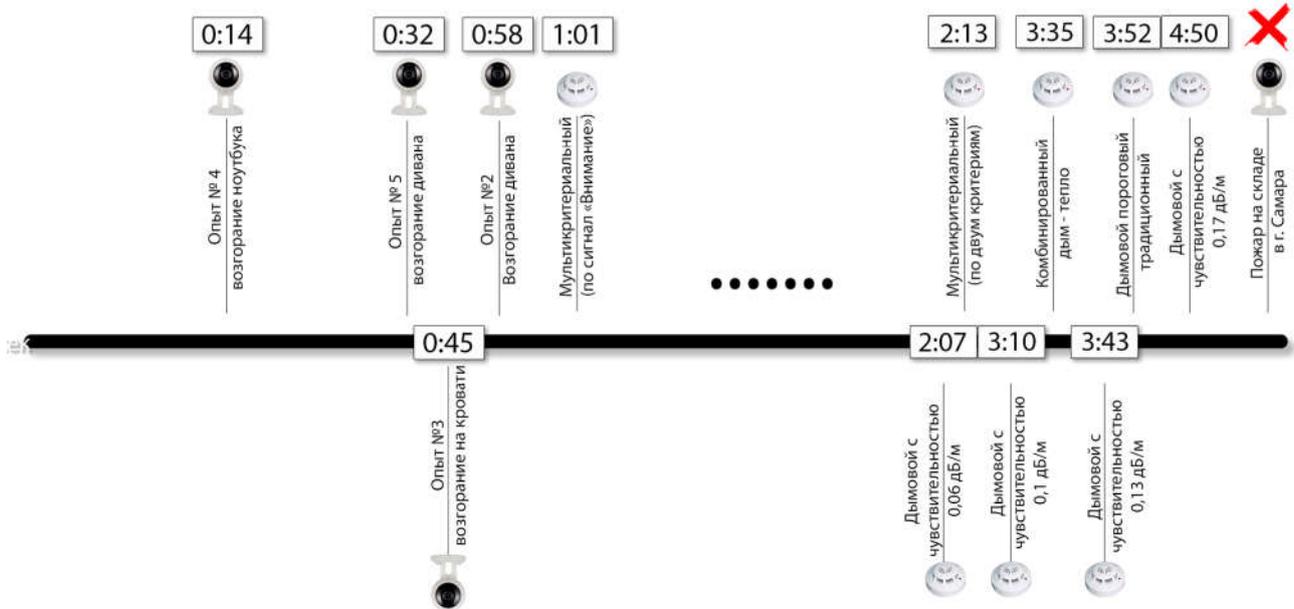


Рис. 6. Результаты

Выводы

Полученные результаты демонстрируют потенциал технологии машинного зрения в области пожарной безопасности. Достаточно простой алгоритм, в условиях эксперимента, способен сократить время обнаружения пламени в разы по сравнению со стандартными пожарными извещателями.

В качестве направлений дальнейшего исследования стоит отметить повышение эффективности и точности алгоритма, например внедрение последних итераций детекторов объектов в реальном времени на базе YOLO. Добавление функционала в алгоритм – обнаружение дыма. Рассмотрение эффективности обнаружения пожара пожарными извещателями пламени. Формирование правил для повышения эффективности обнаружения пожара (например требования к размещению камер, требования к контрасту и яркости и прочее).

Список используемых источников

1. Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика пожар: государственный стандарт ГОСТ Р 54081-2010 (МЭК 60721-2-8:1994) // Сайт: URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/4a0/4293800546.pdf> (дата обращения 02.06.2024)
2. Фёдоров В.Ю. Временные характеристики обнаружения дыма пожарными извещателями // Пожары и ЧС. 2011. №2 – С 27-30.
3. Изупов Н.С., Баранов А.В. Исследование закономерностей и тенденций состояния пожарной безопасности общественных зданий в Российской Федерации // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2023. № 3(11). С. 15-23.

4. Статистика пожаров и их последствий 2022 года (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) данные в формате PDF - URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/Статистика/2022/ВНИИПО/pozharyi-i-pozharnaya-bezopasnost-2022.pdf> (дата обращения 11.09.2023)
5. Открытая база данных, содержащая сведения о публикациях и патентах / Lens.Org // Сайт: URL: <https://www.lens.org/> (дата обращения 02.06.2024).
6. Предварительно обученные данные для обнаружения пожара / Платформа для совместной разработки программного обеспечения GitHub // Сайт: URL: https://github.com/anshumagahlot22/Fire-Detection-System/blob/main/fire_detection.xml (дата обращения 23.06.2024).
7. Работа каскада Хаара в OpenCV в картинках: теория и практика / Хабр // Сайт: URL: <https://habr.com/ru/companies/recognitor/articles/228195/> (дата обращения 23.06.2024).
8. Отобранное видео № 1 (Начало пожара на складе компании ОПТО в Самаре) / Yandex.ru/video // сайт: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JJxjFg3GAow> (дата обращения 23.06.2024).
9. Отобранное видео № 2 / Yandex.ru/video // сайт: URL: <https://yandex.ru/video/preview/4679781226179039645> (дата обращения 23.06.2024).
10. Отобранное видео № 3 / Yandex.ru/video // сайт: URL: <https://yandex.ru/video/preview/4348411320599310083> (дата обращения 23.06.2024).
11. Отобранное видео №4 / Yandex.ru/video // сайт: URL: <https://yandex.ru/video/preview/15486028116319338586> (дата обращения 23.06.2024).
12. Отобранное видео №5 / Yandex.ru/video // сайт: URL: <https://yandex.ru/video/preview/8307490189543172191> (дата обращения 23.06.2024).

Статья поступила в редакцию 12.07.2024, одобрена после рецензирования 27.08.2024; принята к публикации 18.09.2024.

The article was submitted 12.07.2024, approved after reviewing 27.08.2024, accepted for publication 18.09.2024.