

го на нефтехимических заводах. Использование тепловизоров обеспечивает надежный контроль за температурой пламени факела, его объемом и формой. Преимуществом тепловизоров перед оптическими видеосистемами является не зависимость от времени суток и погодных условий. Тепловизоры также выгодно отличаются от других систем контроля температуры, так как могут контролировать процесс с безопасного расстояния, что позволяет сэкономить на системах защиты тепловизора. Схематичное устройство системы представлено на рисунке 1.3 [15].

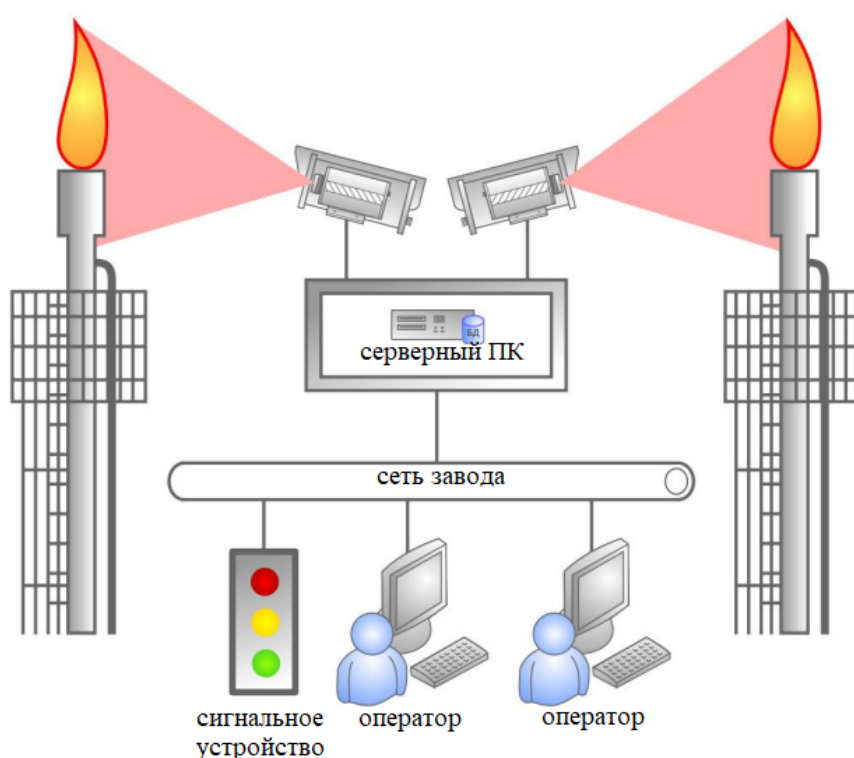


Рисунок 1.3 – Схематичное устройство системы контроля за факелом горения газа

Помимо этого есть другой пример использования тепловизоров для обнаружения газозвудушных смесей. Компания FLIR провела исследование использования тепловизоров для обнаружения выбросов, производимых автомобилями, и получила интересные результаты [14]. В исследовании было продемонстрировано движение автомобилей, снятое тепло-видео системой наблюдения. На оптическом видео различить выбросы не пред-



Рисунок 2.1 – Тепловизор выбранной модели

стоятельно разрабатывать программное обеспечения с необходимым функционалом или же модифицировать уже имеющиеся в SDK программы.

Ввиду ограниченности возможностей библиотеки, запись возможна только в формате YUV [22], который является цветовой моделью, в которой цвет состоит из трёх компонентов — яркость (Y) и два цветоразностных компонента (U и V). Компоненты YUV определены на основе компонент RGB следующим образом:

$$Y = K_R R + (1 - K_R - K_B)G + K_B B,$$

$$U = B - Y,$$

$$V = R - Y.$$

Также возможно обратное преобразование в RGB. Оно производится

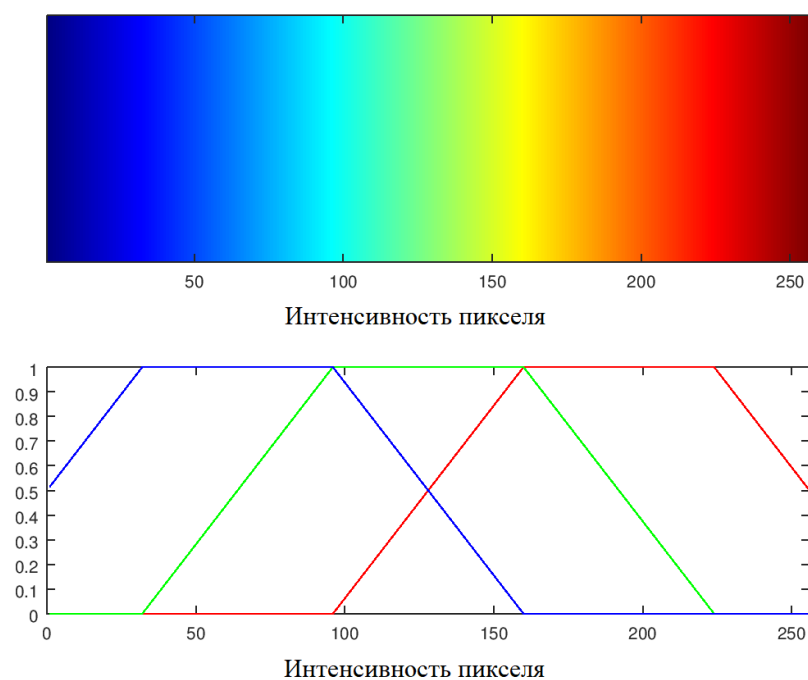


Рисунок 2.2 – График преобразования цвета в цветовой карте «JET»

дит к невозможности задания обратной функции:

$$g : Y \rightarrow X \quad (2.3)$$

для конвертации из цветовой карты в оттенки серого аналитическим путем.

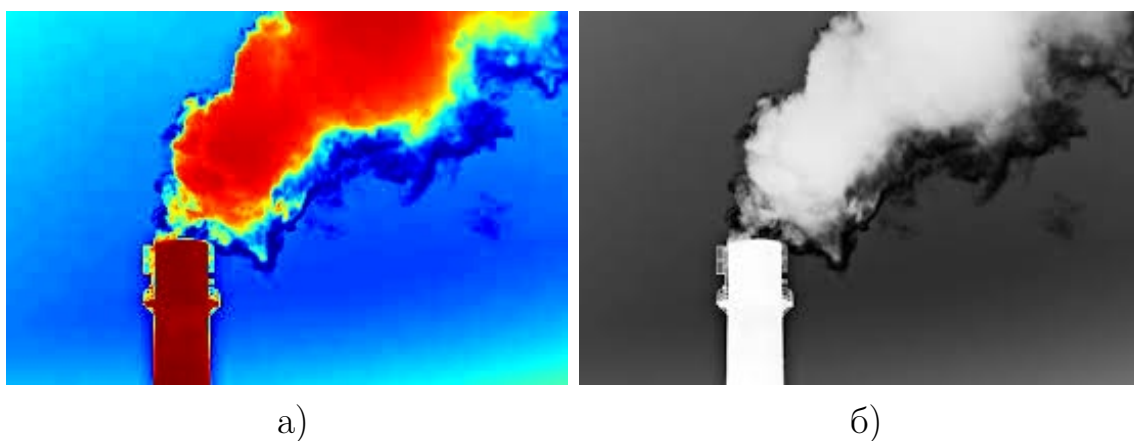


Рисунок 2.3 – Пример теплового снимка приведенного к оттенкам серого: а) изображение в цветовой карте «JET»;
б) изображение в оттенках серого

В общем случае для решения поставленной задачи необходимо ре-

абсолютных температур.

Следующим важным этапом является процесс наложения матрицы абсолютных температур на оптический снимок. Ввиду достаточного удаления от наблюдаемого объекта становится возможным простое наложение матрицы на соответствующую область оптического снимка, без необходимости применения аффинных преобразований. Для этого находим пару чисел A, B – координаты элемента с индексами $0, 0$ в матрице температур на оптическом снимке и формируем из оптического снимка X новый оптический снимок Y , где

$$Y_{i,j} = X_{i+A,j+B},$$

где $i \in [0, n]$, $j \in [0, m]$, n и m – размеры матрицы температур. После этого получаем пару – изображение в формате RGB с и матрица абсолютных температур. Изображение и матрица имеют соответствующие размеры w и h . В результате получаем данные в формате, указанном в постановке задачи. Пример наложения снимка с примененной цветовой картой показан на рисунке 2.7.

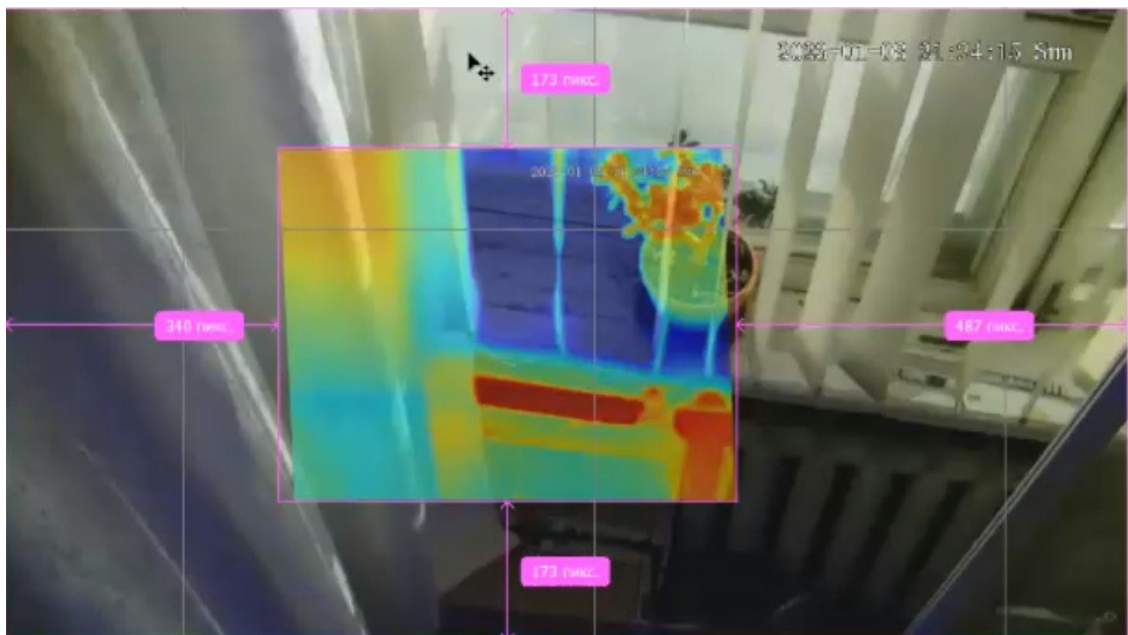


Рисунок 2.7 – Пример работы оптического и теплового снимков

3 РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ФАКЕЛА ВЫБРОСОВ

3.1 Разработка алгоритма подготовки данных для сегментации

Первым этапом подготовки данных является получение этих данных с тепловидео систем наблюдения. Для этого нужно разработать алгоритм взаимодействия с тепловизором и научиться получать данные для последующей обработки. Как уже было описано выше разработчики теплоизора предоставляют пакет SDK, а также библиотеку для работы с тепловизором. Для решения нашей задачи необходимо обеспечить синхронную запись оптических снимков и тепловых карт, соответствующих этим снимкам. Несмотря на то, что SDK предоставляет возможность получения полной матрицы температур, этот способ был признан неэффективным, так как библиотека позволяет выполнять подобный запрос с периодичностью раз в секунду. Было решено записывать незакодированные оптические и тепловые снимки в формате YUV (см. рисунки 3.1, 3.2).



Рисунок 3.1 – Пример оптического снимка

Для обеспечения синхронности и стабильности было решено снизить частоту кадров с 25 Гц до 20 Гц. Также с частотой в 1 Гц производится

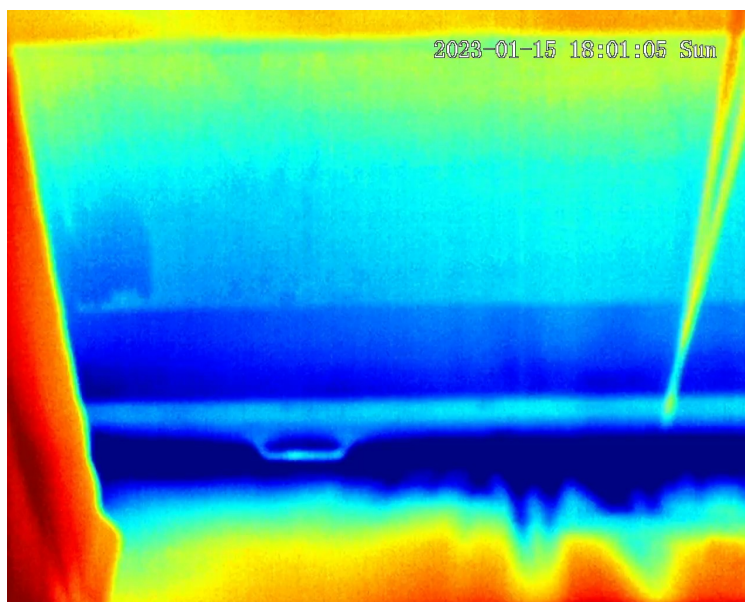


Рисунок 3.2 – Пример теплового снимка

считывание полной матрицы температур для определения максимальной и минимальной температуры.

В результате был разработан алгоритм записи оптических и тепловых снимков. Схема алгоритма записи представлена на рисунке 3.3.

Следующим этапом подготовки данных является ранее описанное преобразование цветовой карты. Необходимо преобразовать изображение из формата цветовой карты «JET» к оттенкам серого, иными словами разработать алгоритм, восстанавливающий целевую функцию (2.3), удовлетворяющий поставленным ранее требованиям.

Для этого в соответствии с ранее описанной математической моделью необходимо подготовить алгоритм классификатора цветов, заключающийся в составлении обучающей выборки и обучении на ней ранее рассмотренной модели «flannBasedMatcher» и после классификации пикселей из пространства RGB. Математическая модель была описана ранее.

В результате был разработан алгоритм преобразования изображения в цветовой карте «JET» в изображение в оттенках серого. Итоговый алгоритм преобразования имеет вид (см. рисунок 3.4).

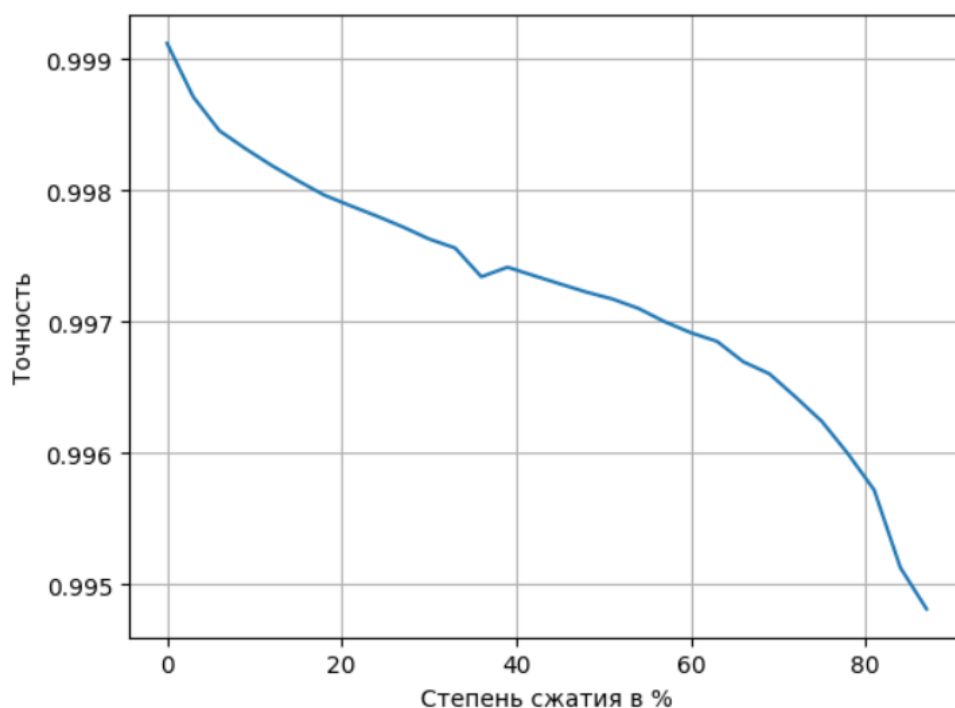


Рисунок 3.7 – График зависимости точности от степени сжатия



Рисунок 3.8 – Пример работы наложения оптического и теплового снимков

товки данных для решения поставленных задач. Данный алгоритм реализует все 3 этапа подготовки данных с достаточной точностью для любой степени сжатия. При этом благодаря используемым моделям машинного обучения время, затрачиваемое на подготовку данных удалось существенно сократить. Разработанный алгоритм представлен в виде блок схемы,

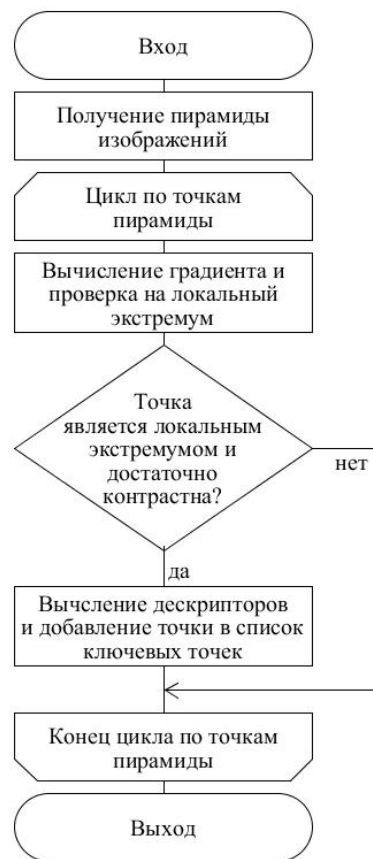


Рисунок 3.10 – Схема алгоритма поиска ключевых точек



Рисунок 3.11 – Пример нахождения ключевых точек

точек образца и изображения, на котором требуется обнаружить трубу. В результате этого процесса получается набор ключевых точек и дескрипторов A , соответствующих изображению образца, и набор точек и дескрипторов B , соответствующих входному изображению. После этого применяется описанный ранее алгоритм « k ближайших соседей», предназначенный для классификации элементов из набора A по n классам, где n представляет собой размер набора B . Этот процесс обучения и классификации основан на ранее рассмотренной математической модели. Пример работы этого алгоритма показан на рисунке 3.12.

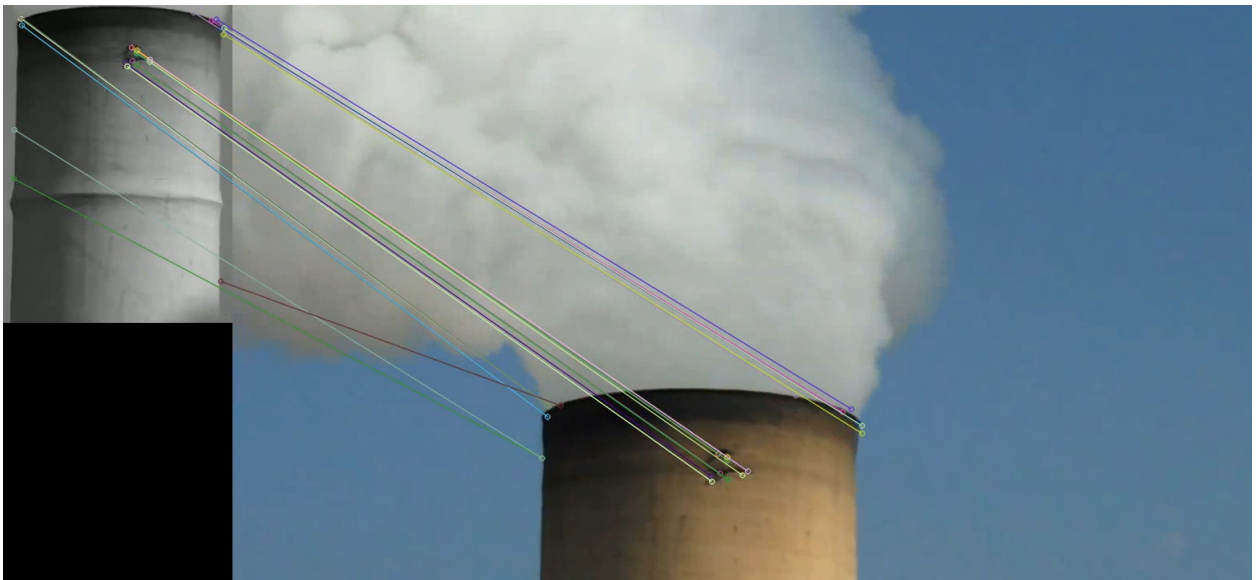


Рисунок 3.12 – Пример сопоставления ключевых точек

Следующим этапом является применение ранее рассмотренного алгоритма «RanSaC». Данный рандомизированный алгоритм позволяет восстановить некоторую зависимость по данным, в которых имеется некоторое количество выбросов. Алгоритм заключается в выполнении некоторого, заранее заданного количества итераций N , в каждой из которых выбирается некоторое количество данных и выполняется вычисление точности по некоторой метрике. Схемма алгоритма представлена на рисунке 3.13.

3.3 Результаты работы алгоритма сегментации факела выбросов и оценка их точности

В результате разработки алгоритмов подготовки данных, детекции трубы, а также непосредственно сегментации, был разработан программный модуль, реализующий сегментацию факела вредных выбросов. Для оценки точности работы разработанного модуля была сформирована и размечена тестовая выборка, состоящая из 300 последовательно записанных оптических и тепловых кадров, в также максимальных и минимальных температур с рассмотренной ранее дискретностью. Данная выборка была размечена вручную. Пример выборки представлен на рисунке 3.16.

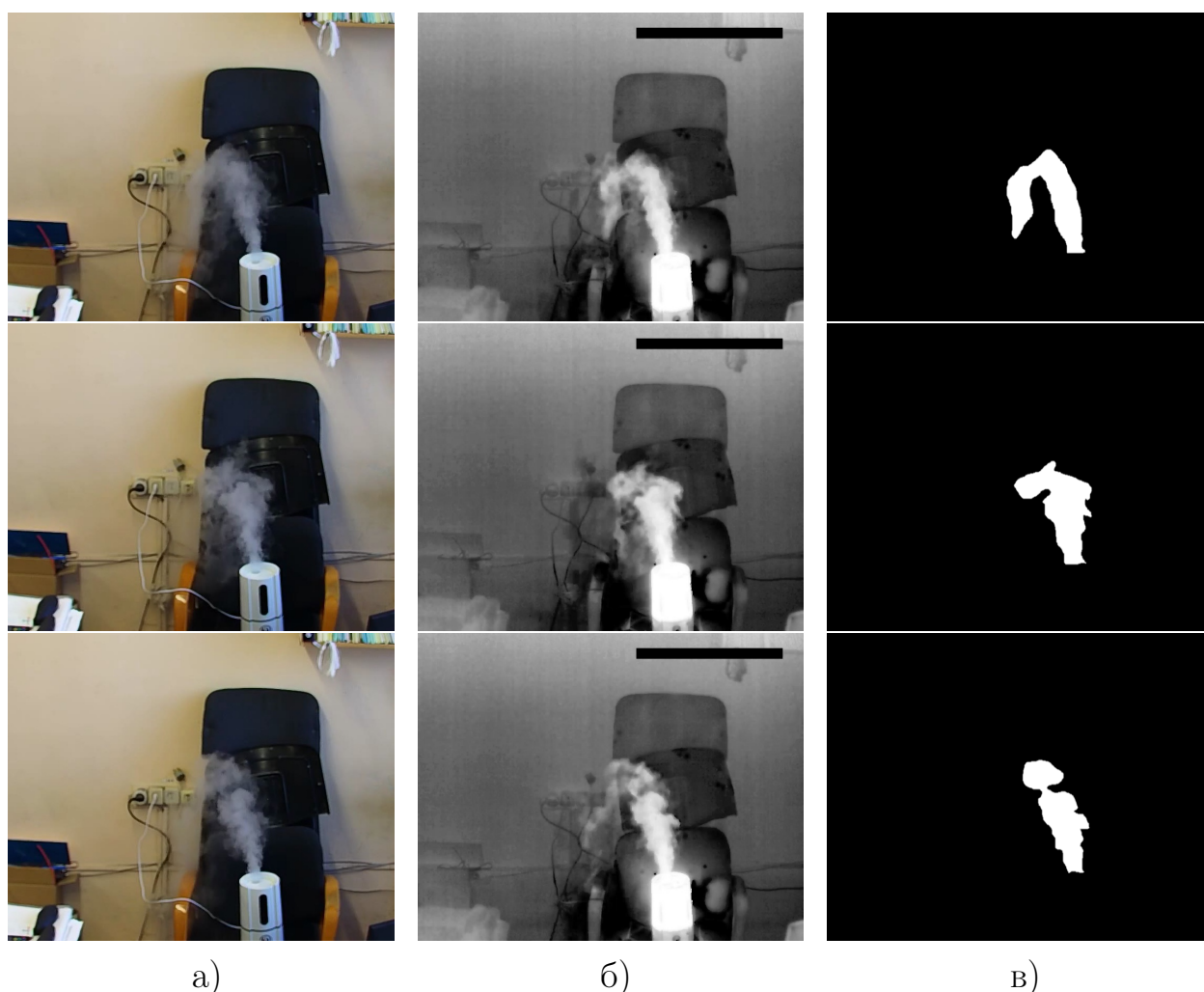


Рисунок 3.16 – Пример тестовой выборки: а) оригинальные оптические изображения; б) оригинальные тепловые изображения; в) маски

Данная тестовая выборка состоит из записанных тепловизором выбранной модели данных. На данный момент данные являются синтетическими, и были получены в результате моделирования трубы и горячих выбросов из нее.

Для тестирования и оценки реализованного программного комплекса, была проведена сегментация данной тестовой выборки (см. рисунок 3.17).

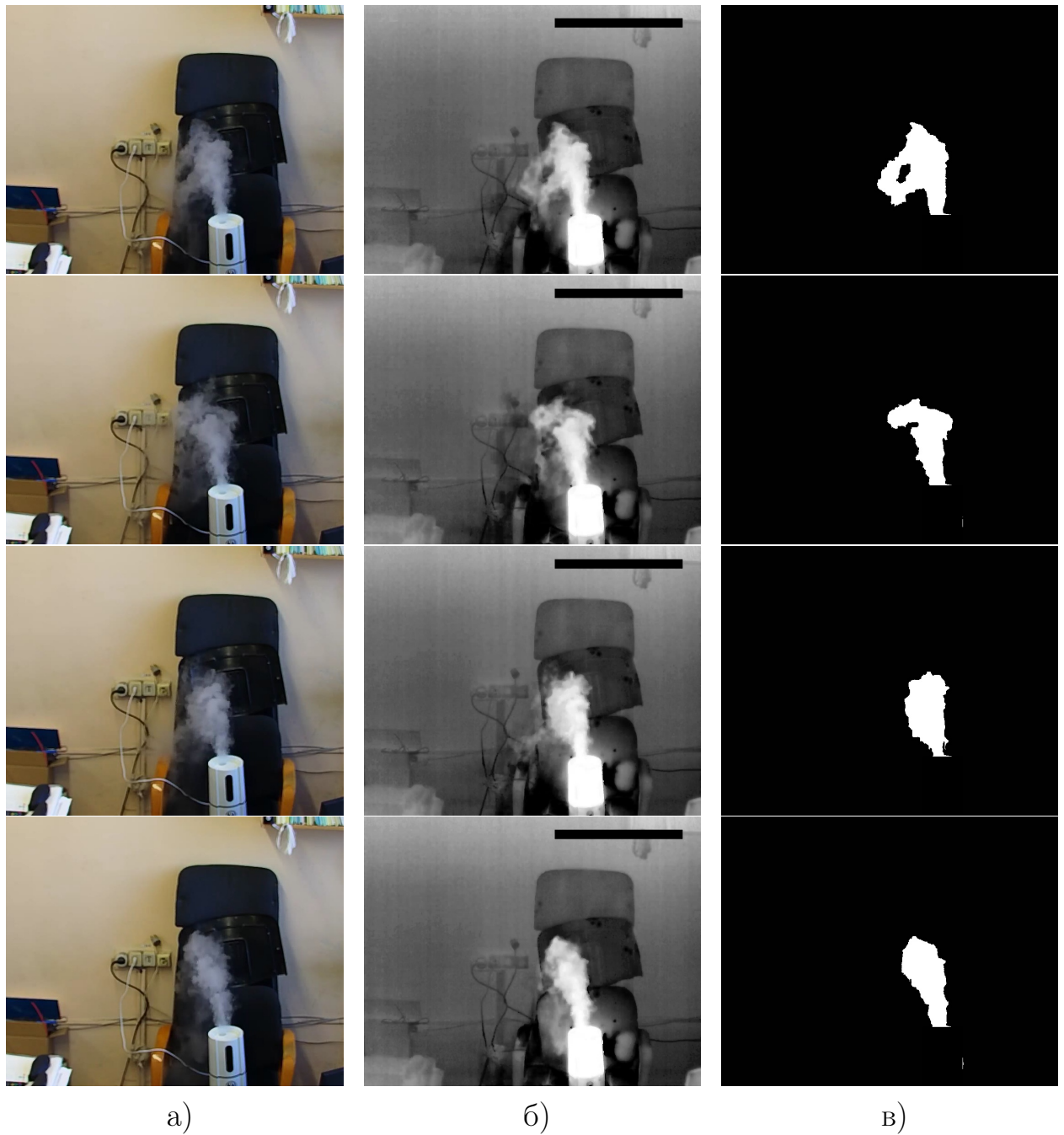


Рисунок 3.17 – Пример работы: а) оригинальные оптические изображения; б) оригинальные тепловые изображения; в) получившиеся маски