А.Н. Членов, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демехин

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлены материалы второй главы монографии "Новые методы и технические средства обнаружения пожара", в которой рассмотрены различные аспекты применения видеотехнологий в системах пожарной безопасности объектов.

ГЛАВА 2

2.1. Повышение эффективности обнаружения пожара с использованием видеотехнологий

В настоящее время применение систем пожарной автоматики на различных объектах регламентировано рядом нормативных документов. Однако функциональная надежность таких систем остается недостаточно высокой. Одним из направлений повышения пожарной безопасности объектов является интеграция систем пожарной автоматики и видеонаблюдения [2.1, 2.2].

Как известно, применение систем охранного телевидения эффективно решает ряд вопросов обеспечения комплексной безопасности, так как позволяет оператору визуально оценить ситуацию, возникающую на объекте. Около 10 назад системы охранного телевидения были в основном аналогового типа и имели значительную стоимость. В настоящее время ситуация быстро меняется: существует определенная тенденция к переходу на цифровые компьютерные видеосистемы, которые позволят существенно снизить стоимость оборудования и одновременно повысить его эффективность.

Основным компонентом, отличающим аналоговые системы охранного телевидения от цифровых (компьютерных), является наличие микропроцессорного блока (рис. 2.1), в который входят следующие функциональные элементы:

- устройства ввода – программно-аппаратный комплекс, который необходим для оцифровки и сжатия сигналов с помощью специальных кодирующих устройств;

- устройство анализа - включает в себя различные детекторы, программно-аппаратные комплексы идентификации и распознавания объектов;

- контроллеры различных устройств часто входят в состав компью-

терных систем видеонаблюдения и служат для их взаимодействия с системами охранной сигнализации, контроля доступа, пожарной сигнализации и технологическими системами объекта;

- накопитель, предназначен для архивирования видеозаписи с камер, хранения банка данных для систем идентификации и распознавания объектов.

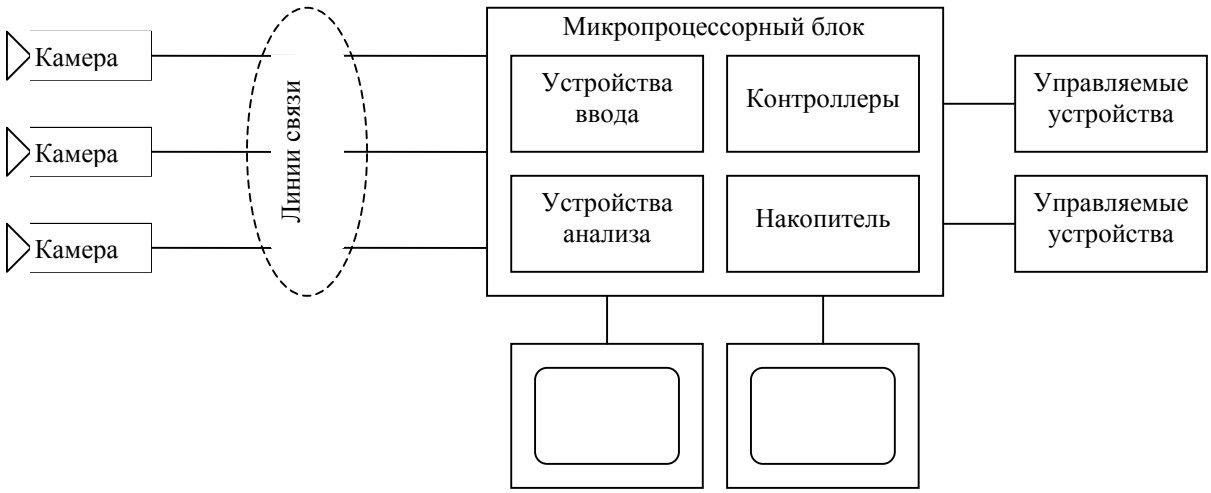

Рис. 2.1. Типовая схема компьютерной системы охранного телевидения

Одним из основных элементов рассматриваемых систем являются видеодетекторы. Они, анализируя сигнал, полученный с видеокамер по специальным алгоритмам, обеспечивают привлечение внимания оператора (персонала службы безопасности) к несанкционированным действиям, происходящим на объекте, а также формируют управляющие команды в систему безопасности. Положительным качеством систем охранного телевидения с применением видеодетекторов является то, что оператор не должен постоянно смотреть на экран монитора. Вместе с тем при поступлении сигнала с детектора оператор имеет возможность визуально оценить ситуацию и принять соответствующее решение. Кроме того, без детекторов экономически нецелесообразно строить современную систему видеоархивации, идентификации и распознавания образов.

Практика использования систем видеонаблюдения с детекторами движения показывает, что помимо охранных функций с их помощью возможно и обнаружение пожара, что обеспечивает пожарной безопасности. Однако специальные исследования в этом направлении не проводились. В нормативных документах по пожарной безопасности никак не определено влияние систем охранного телевидения на фактическое повышение уровня пожарной безопасности того или иного объекта.

Одним из возможных направлений взаимной интеграции систем по-

жарной автоматики и систем охранного телевидения является усовершенствование применяемых детекторов движения с включением в них функций обнаружения пожара.

Рассмотрим основные факторы пожара, которые можно регистрировать с помощью телекамеры, а также мешающие факторы [2.3]:

1. Открытое пламя – существенно отличается по интенсивности и частоте электромагнитного излучения от фоновой засветки. В ряде случаев пламя имеет флуктуацию в определенном частотном диапазоне. Следовательно, оно может быть обнаружено телекамерой, рассчитанной на длину волны излучения, и по специальному алгоритму обработки сигнала - создан детектор пламени.

Преимуществом данного устройства будет возможность контроля больших открытых пространств, технологических установок. Дополнительным преимуществ таких видеодетекторов является возможность в автоматическом режиме фиксировать точное место очага пожара для подачи огнетушащих веществ.

Возмущающими факторами будут: помехи, связанные с солнечной засветкой, переменой времени суток, осадками, различными перемещениями в кадре людей, птиц. Учитывая имеющиеся наработки при создании видеодетекторов охранного телевидения для защиты периметра территории объекта, исключение влияния таких помех существенных трудностей не представляет. Техническая сложность может возникнуть по изготовлении специального видеосенсора с широким динамическим диапазоном.

2. Столб дыма на открытой площади легко может быть обнаружен и распознан по резкому изменению контрастности изображения на большой площади кадра. В данном случае возникают те же трудности, что и в предыдущем случае.

3. Дым в помещении – в начальной стадии пожара, как правило, наблюдается задымление в верхней части помещения, т.е. постепенное ухудшение контрастности (видимости) изображения, что может быть зарегистрировано обычной телекамерой, но с применением специального алгоритма, фиксирующее плавное снижение контрастности. Основным возмущающим фактором в данном случае может явиться недостаточная контрастность в помещении в темное время суток, однако эта проблема может быть решена применением метода "опорных сигналов", либо использованием инфракрасных прожекторов.

Таким образом, применение видеодетекторов пожара позволит расширить возможности современных систем видеонаблюдения, существенно повышая при этом пожарную безопасность объекта.

Разрабатываемые видеодетекторы могут решать задачу обнаружения пожара как дополнительную к охранным функциям, но могут строиться

как специализированные, предназначенные только для обнаружения пожара с использованием телекамер, отвечающих специальным требованиям.

2.2. Общие принципы построения видеодетектора пожара

Практика использования систем видеомониторинга с применением различного рода видеодетекторов показывает, что помимо охранных функций данные системы достаточно успешно справляются с задачами по обнаружению пожара. Однако в нормативных документах по пожарной безопасности никак не регламентировано влияние применяемых систем видеомониторинга на повышение фактического уровня пожарной безопасности того или иного объекта. Это, вероятно, связано с малым количеством специальных научно-исследовательских работ по данной тематике.

Исследования в данной области ведутся с конца 20 века. За этот период разработан ряд новых методов и интересных алгоритмов, которые легли в основу построения новых видеодетекторов [2.4, 2.5]. Как показали исследования, методы и разработанные на их основе алгоритмы обработки видеосигнала, предназначенные для учета влияния различного рода возмущений в системах охранного телевидения, таких как: появление теней, тумана, снижение видимости и т.д. – могут достаточно успешно работать по обнаружению опасных факторов пожара.

Условно все известные методы можно разбить на три группы. К первой группе можно отнести методы с применением опорных изображений, которые были получены до наступления тревожной ситуации при нормальных условиях для различных вариантов освещенности (день, вечер, осадки и др.).

Ко второй группе относятся методы, в которых используется определенный банк данных типовых блоков видеоизображения различных тревожных ситуаций - форма и тип пламени, интенсивность задымления и т.д., а также различных возмущающих факторов, таких как – солнечная засветка, фары движущихся автомобилей, различного рода блики, и др., которые при необходимости, сравниваются с отдельными частями реального изображения.

К третьей группе можно отнести методы, которые анализируют статическую и динамическую составляющие отдельных элементов изображения по яркостной и цветовой составляющим, а также с применением специальных сенсоров ближнего инфра-красного диапазона.

Рассмотрим более детально принцип работы каждого из трех групп методов и построенные на их основе видеодетекторы.

Метод определения условий окружающей среды по видеоизображению

Метод для определения некоторых условий окружающей среды по видеоизображению основан на анализе отдельных частей изображения по специальным признакам и позволяет распознавать наличие дыма, тени, тумана, либо увеличения оптической плотности среды под воздействием различных факторов (рис. 2.2, 2.3) [2.6].

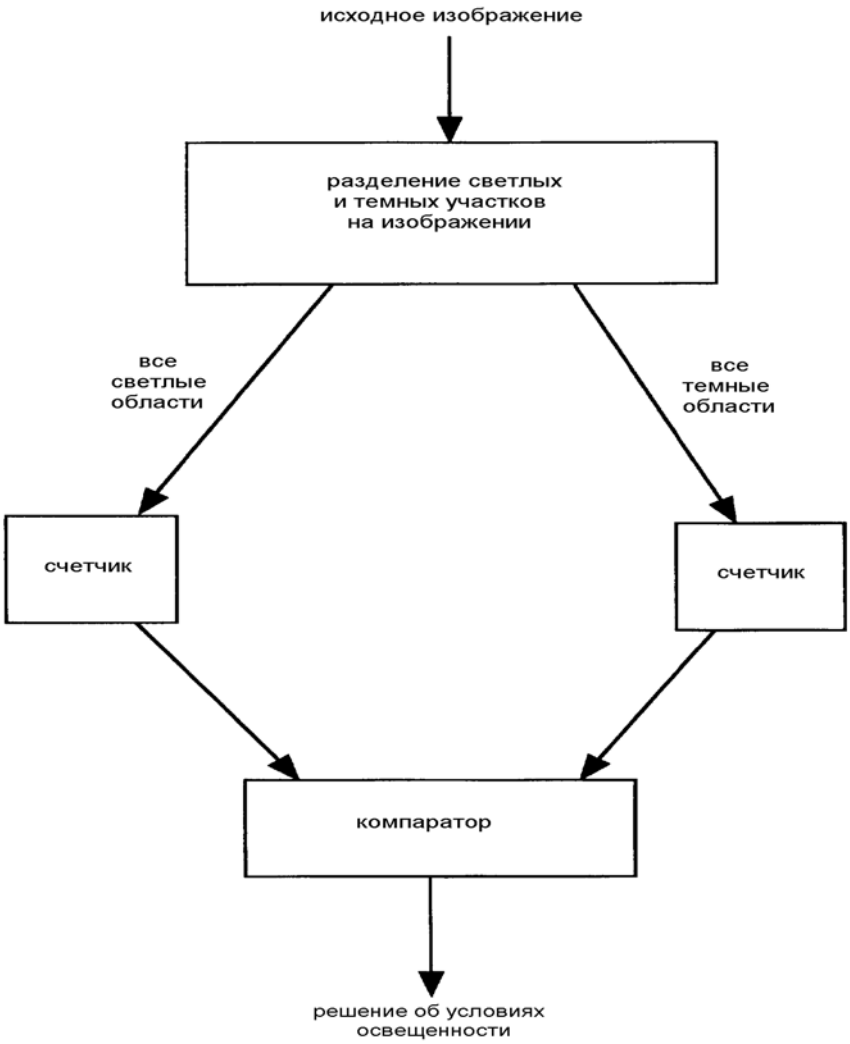

Рис. 2.2. Процесс генерирования опорных изображений

Многие ранее разработанные системы видеодетекции не могли распознать объекты, временно появляющиеся в поле зрения телекамеры. Например, в солнечный день одни предметы могут затенять другие, в пасмурный день возможно появление тумана, дымки и т.д., поэтому возникла необходимость в системах идентификации и распознавания образов применять дополнительные методы борьбы с подобного рода искажениями.

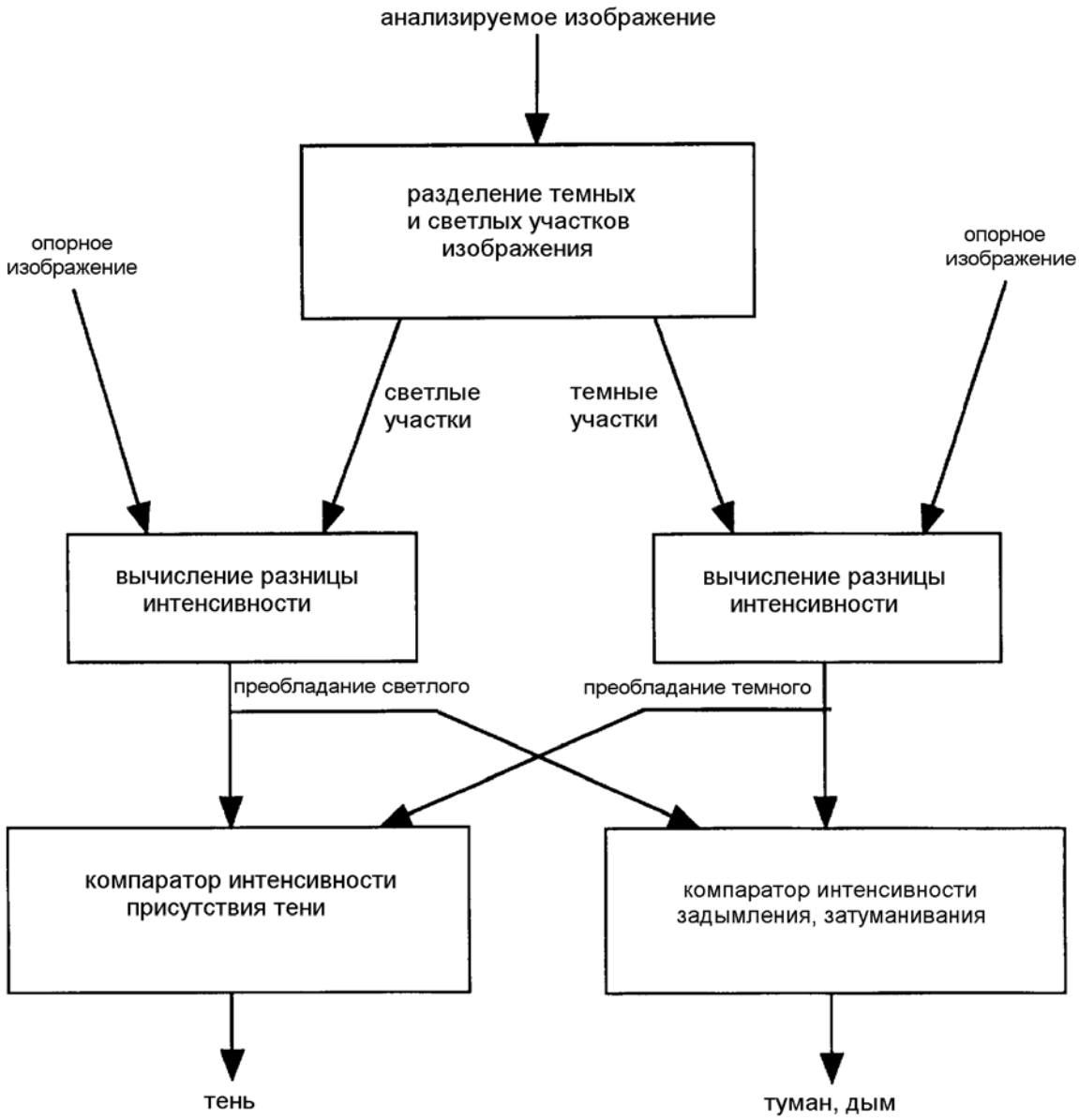

Рис. 2.3. Процесс определения окружающих условий

Разработки по определению условий окружающей среды в системах охранного телевидения были преимущественно основаны на детальном анализе изображений. В некоторых системах по определению степени освещенности или затененности использовали внутренний хронометраж, данные о широте и долготе, а также встроенный астрономический календарь. Однако все эти методы не могут обеспечить должную достоверность при плохой погоде.

Принцип действия прибора, использующего рассматриваемый метод [2.7], основан на анализе отдельных участков (пикселей) ко всему видеоизображению в целом. Определение наличия дыма, тумана или тени про-

изводится путем сравнения свойств видеопоследовательности обнаруженных объектов со свойствами опорных изображений, которые генерируются при идеальных условиях окружающей среды.

Блок схема цифрового сигнального процессора для обработки видеоизображения по данному методу приведена на рис. 2.4.

Принцип действия прибора на основе данного метода заключается в следующем. Изначально генерируются опорные изображения, содержащие информацию о фоне при нормальных условиях (отсутствии помех) – рис. 2.2.

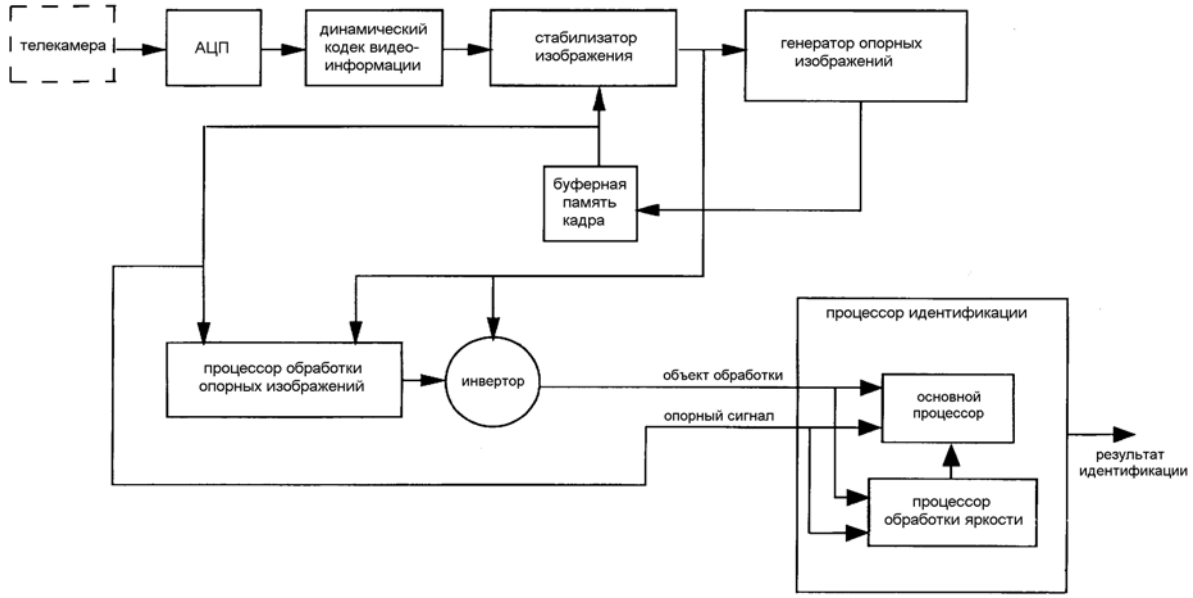

Рис. 2.4. Блок-схема цифрового сигнального процессора обработки видеоизображения

Затем производится попиксельное сравнение каждого кадра, принятого с телекамеры, с полученным ранее опорным изображением (рис. 2.3). На основании каждого произведенного сравнения производится классификация всех пикселей кадра на предмет принадлежности к фоновым или нефоновым.

Производится сравнение уровня яркости каждого нефонового пикселя с пороговым уровнем. Затем следуют разделение каждого из нефоновых пикселей на темные и светлые путем сравнения уровня яркости с опорным изображением. По окончании этой процедуры происходит вычисление знаковой разницы уровня яркости темных и светлых пикселей и производится определение на изображении наличия дыма, тумана или тени.

Метод обнаружения пожара сравнением образов

Принцип обнаружения пламени основан на анализе яркости в отдельной точке кадра в сравнении со всем изображением. Данная методика разрабатывалась для обнаружения возгораний в автомобильных тоннелях [2.8], где имелось большое количество факторов, приводящих к частым ложным срабатываниям системы – фоновое освещение, различного рода осветительные приборы движущихся автомобилей, блики.

Метод обнаружения возгорания сравнением образов основан на выделении участков, похожих на пламя на анализируемом видеоизображении, полученном с телекамеры, сравнением выделенных фрагментов с базой данных возможных источников возмущения, а также моделей реального пламени, как по форме, так и по частоте ее изменения (флуктуации). Части изображения, характеризующие источник световых помех, выделяются на видеоизображении и извлекаются из последовательности кадров. Затем производится сравнение извлеченных частей изображения, полученных с течением некоторого времени, с имеющимися образами фоновых помех. Если извлеченные части изображения в течение определенной кадровой последовательности не соответствуют образу возмущающей засветки (лампы накаливания, фары двигающегося транспортного средства, и т.д.), они подвергаются сравнению с формами реального пламени из банка данных и в случае корреляционной схожести – идентифицируются как пожар.

Система (рис. 2.5) для обнаружения пожаров, использующая данный метод, состоит из видеокамеры, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), буферной памяти для хранения изображения, причем каждого цвета отдельно, анализатора динамики изменения образов и модуля идентификации. Постоянное запоминающее устройства (ПЗУ) необходимо для хранения различных образов пламени и возмущающих источников света, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) необходимо для хранения образов идентификации. Управление системой осуществляется с помощью процессора.

Сигнал с телекамеры поступает в АЦП, где оцифровывается и разделяется на три основных цвета: красный, синий, зеленый. Уровень сигнала каждого цвета кодируется одним байтом и может принимать значения от 0 до 255. Уровни 4 – 75 приняты за ноль – "уровень черного". Проведенные испытания данной системы показали определенные отличия в интенсивности цветового состава при регистрации различных источников света (табл. 2.1).

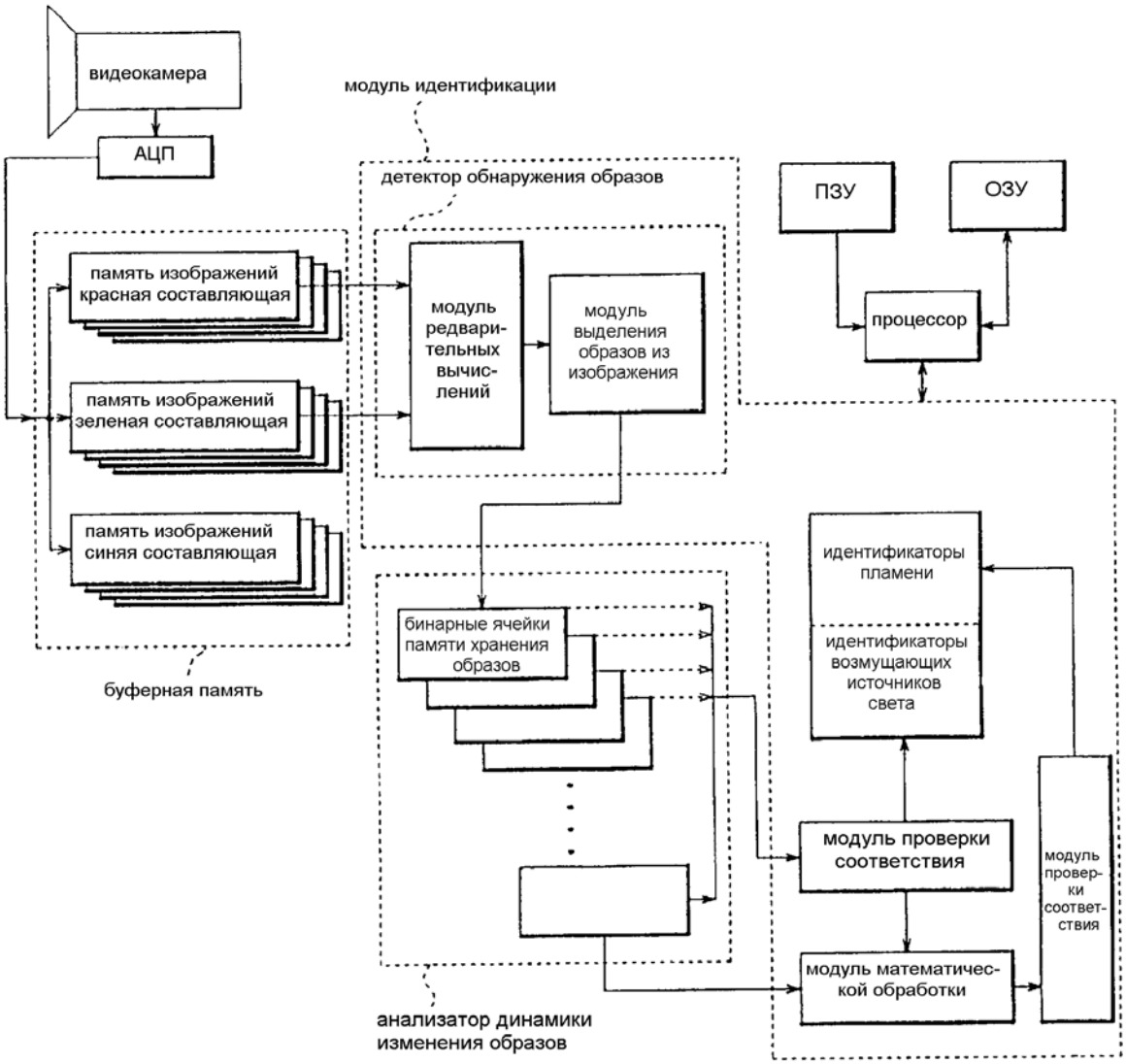

Рис. 2.5. Система обнаружения пожаров сравнением образов

Таблица 2.1

Интенсивность светового излучения различных источников света

Источник освещения	Красный	Зеленый	Синий
Проблесковый маячок автомобиля	160	75	55
Передние фары автомобиля	200	85	70
Пламя	220	210	60

Сигнал о возможном наличии пламени генерируется при уровне сигнала по красному и зеленному при значении не менее 180 единиц. Затем система с помощью специального детектора определяет и выделяет наиболее яркую область на изображении и анализирует ее динамику путем анализа 8-ми последовательных кадров, что при частоте регистрации в 30 кадров (полей) в секунду соответствует средней частоте флуктуации пламени. Далее после специальной математической обработки выделенного фрагмента производится его сравнение с хранящимися в памяти идентификаторами – элементами искусственных источников помех. Если элементы искусственной засветки не подходят, система сравнивает полученные изображения с хранящимися в памяти элементами реального пламени и выдает сигнал "Пожар".

Положительной стороной применения данного метода обнаружения пожара является низкая вероятность ложных срабатываний, но только в четких границах использования системы. К недостаткам можно отнести узкую область использования системы, ограничение возможностей в связи с конечным количеством хранимых идентификаторов пламени и элементов возмущающих источников света.

Метод раннего обнаружения возгораний по видеоизображению

Суть метода состоит в выделения на видеоизображении участков, похожих на пламя, и анализ их постоянной и переменной составляющих по специальному алгоритму [2.8]. По принципу действия система идентификации пламени, использующая данный метод, похожа на обычный извещатель пламени, который работает в ближней области ИК диапазона и анализирует частоту мерцания пламени.

Схематично принцип действия данного метода показан на рис. 2.6. Алгоритм обработки видеосигнала приведен на рис. 2.7.

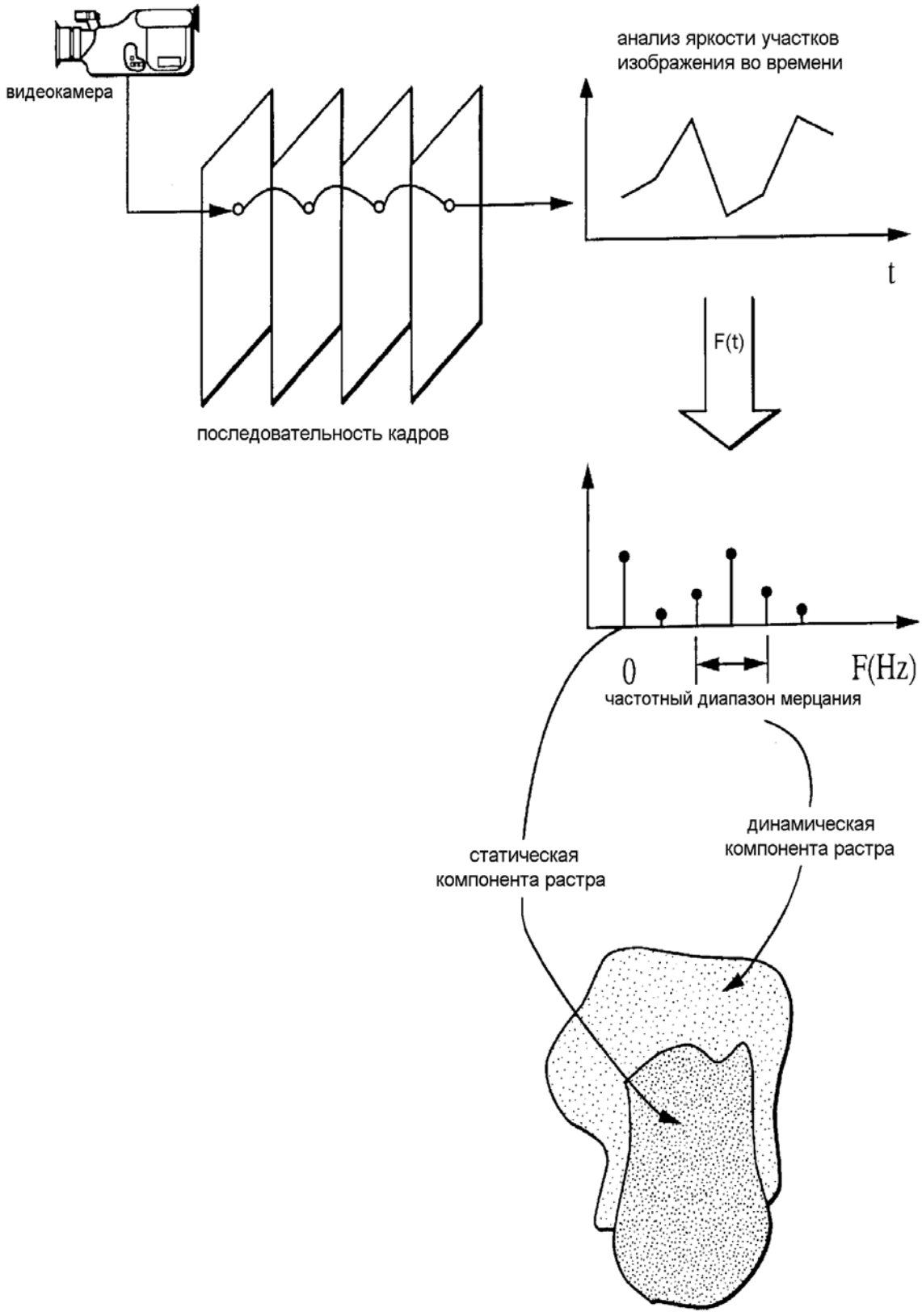

Рис. 2.6. Метод раннего обнаружения возгорания по видеоизображению

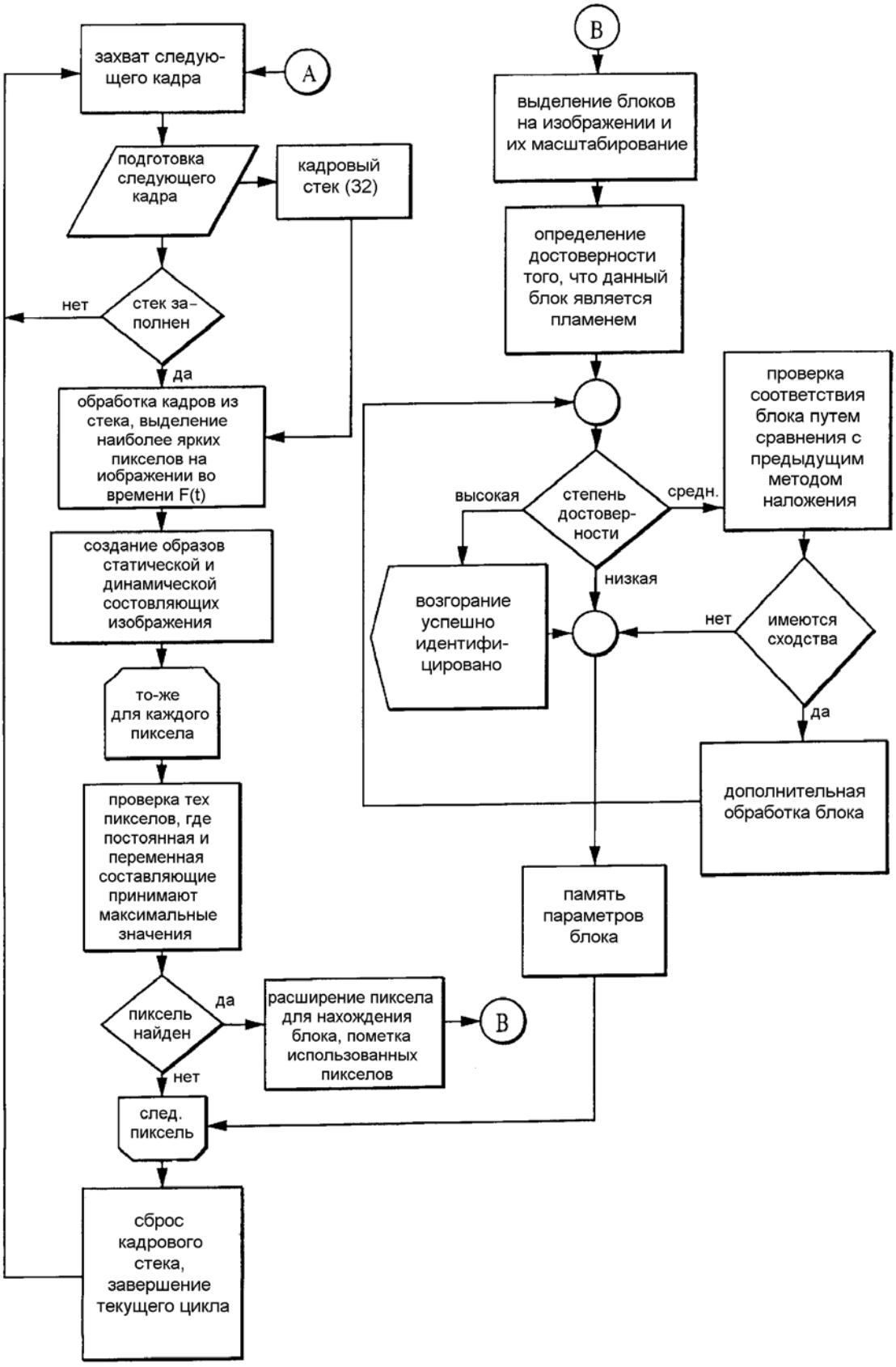

Рис. 2.7. Алгоритм обработки видеосигнала

Принцип работы системы обнаружения пламени на видеоизображении по рассматриваемому методу состоит в следующем.

Цифровая камера на основе ПЗС-матрицы производит захват и оцифровку видеокартинки в двухмерном изображении, пространственное разрешение которого определяется количеством пикселей в каждом кадре. В итоге разрешение полученного изображения составляет 160×120 пикселей. Частота кадров связана с частотой возможной флуктуации пламени и составляет 16 к/с. Происходит циклическое накопление в памяти системы захваченных кадров. Все кадры анализируются попиксельно с определенным пороговым значением уровня яркости. Двоичный код вычисляется для каждого пикселя отдельно по отношению к общему растру изображения.

По результатам данного вычисления система выделяет часть изображения с повышенной яркостью и составляет матрицу 12×12 блоков. Затем производится анализ изменения выделенной матрицы за все 16 кадров и определяются блоки пикселей, имеющие либо постоянную, либо динамическую компоненту, изменяющуюся по уровню яркости во времени $F(t)$ – рис. 2.8.

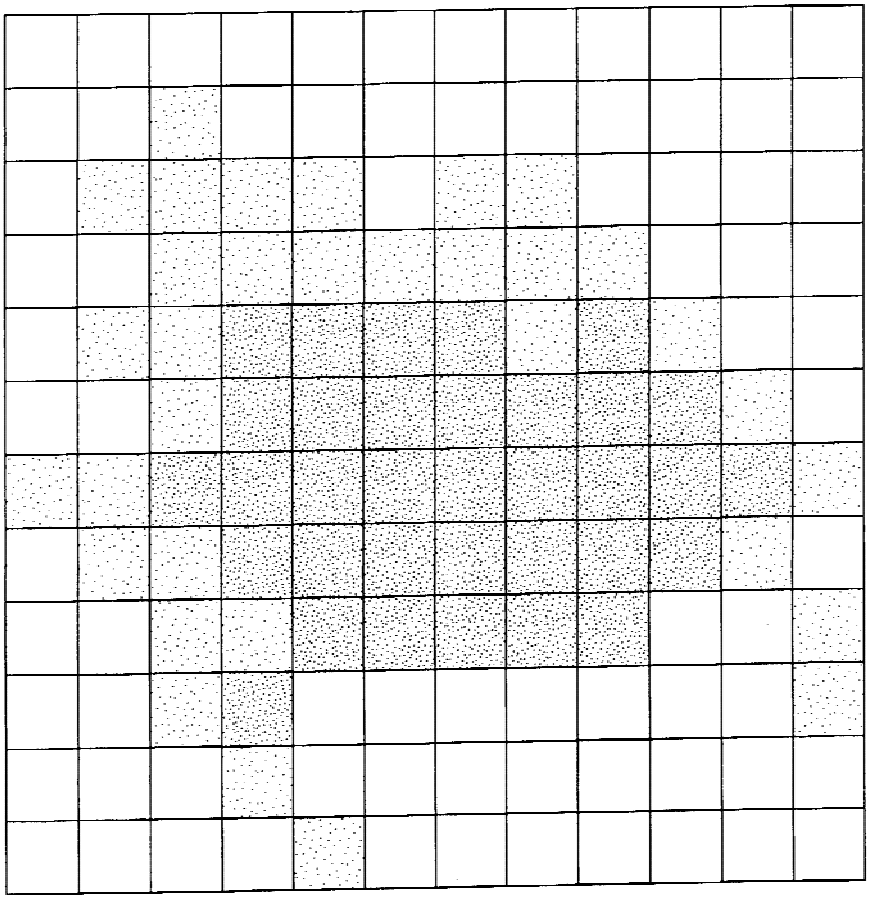

Рис. 2.8. Блоки с постоянной и переменной составляющей

Динамическая составляющая в рассматриваемом случае является краем пламени и изменяется с частотой его флуктуации. При наличии корреляционной зависимости частоты изменения блоков динамической составляющей матрицы с возможной частотой флуктуации пламени происходит выдача сигнала "Пожар".

Для разделения статической и динамической составляющей на выделенной матрице используется принцип цифровой сигнальный процессор, использующий принцип окон Хамменга [2.8] (рис. 2.9).

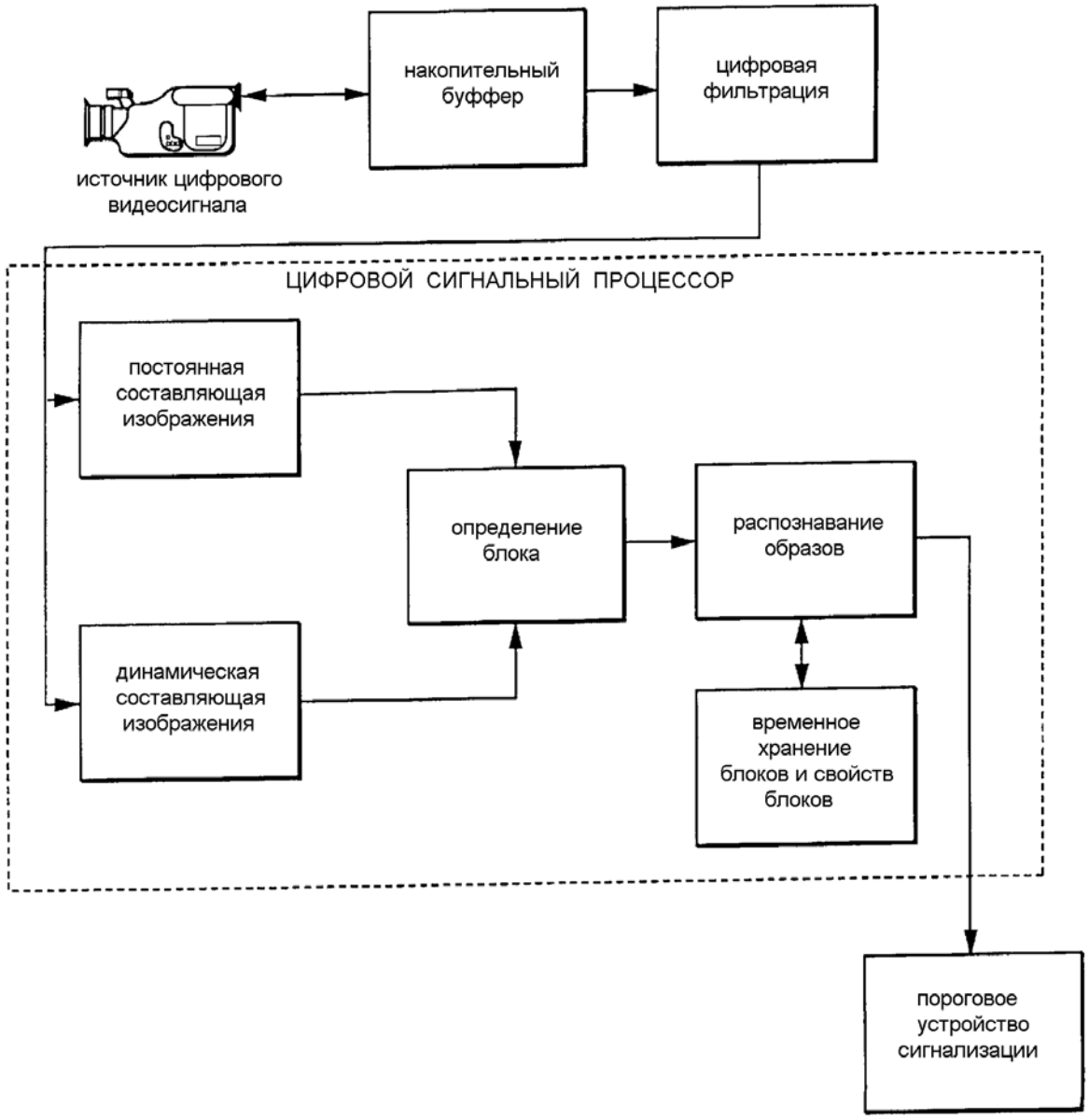

Рис. 2.9. Блок-схема цифрового сигнального процессора

Для обработки исходного видеоизображения, выделения на нем объекта исследования используется специальная схема накопления изображения в оперативном запоминающем устройстве, структура которого показана на рис. 2.10.

Видеодетектор пламени, в основу которого лег рассматриваемый метод, по принципу действия представляет собой микроконтроллер идентичный обычному компьютеру (рис. 2.11).

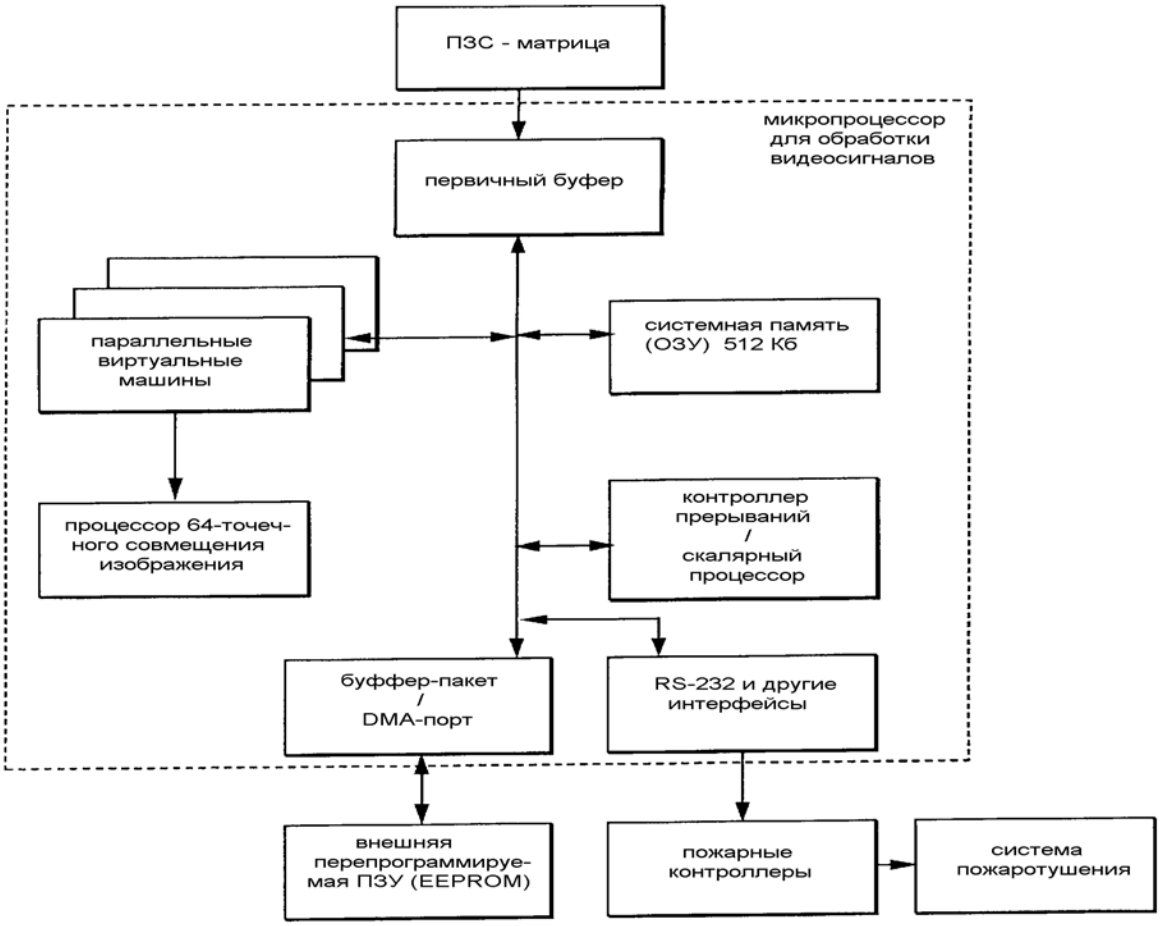

Рис. 2.10. Структура организации памяти системы

Данный метод обнаружения пламени на видеоизображении наиболее универсален из рассмотренных выше, позволяет наиболее эффективно определять наличие пламени на анализируемом видеоизображении и пренебрегать различными световыми возмущениями, что сводит к минимуму возможность ложных срабатываний системы.

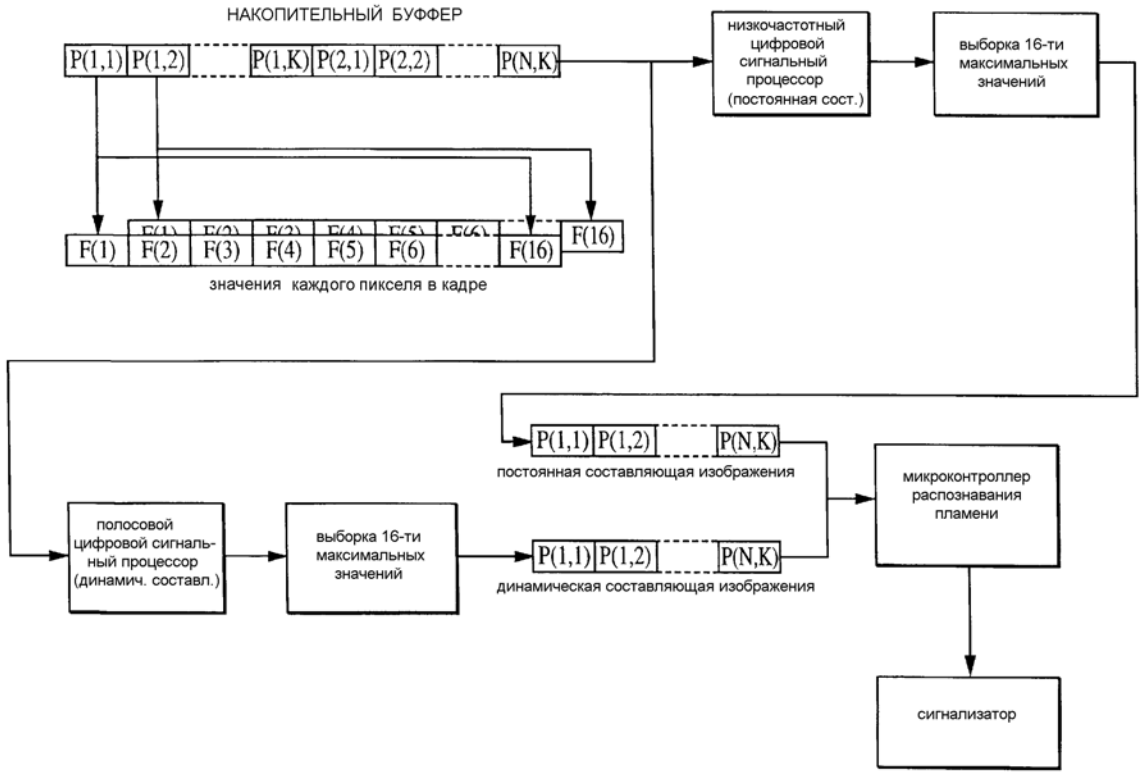

Рис. 2.11. Устройство цифрового видеодетектора пламени

Недостатком данного метода является сложность идентификации пламени, которое находится на значительном удалении от камеры. Кроме этого данный метод не позволяет вычислять точную координату местонахождения пламени на видеоизображении (возможна только детекция наличия пламени).

Одним из перспективных направлений совершенствования рассмотренных методов может явиться совмещение функций инфракрасного извещателя пламени и различного рода видеодетекторов [2.4].

2.3. Применение видеотехнологий в интегрированной системе пожарной безопасности

Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей в экстремальных ситуациях представляет собой организационно-техническую систему, обеспечивающую своевременное сообщение людям о возникающей опасности и, при необходимости, путях эвакуации. Технической основой СОУЭ является комплекс взаимодействующих технических средств, включающий оповещатели, указатели и приборы управления ими.

Современные СОУЭ проектируются и функционируют с целью реали-

зации планов эвакуации, разрабатываемых на основе нормативных документов, исходя из условия обеспечения безопасной эвакуации людей [2.9]. При проектировании одним из основных параметров является время эвакуации, устанавливаемое по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей. С учетом этого определяются размеры зон оповещения, специальная очередность оповещения, время начала оповещения в отдельных зонах и другие характеристики функционирования СОУЭ, реализуемые в автоматическом или полуавтоматическом режиме техническими средствами управления.

Однако на практике могут возникнуть ситуации, не предусмотренные планом, когда в процессе функционирования объекта возникнут изменения в его конфигурации, влияющие на исходные данные для расчета плотности потока людей, путей эвакуации и др. Например, при ремонте помещений происходит заграждение проходов из-за выставленной в коридор мебели. Возможна также умышленная или неумышленная блокировка людьми прохода при эвакуации. В этих случаях необходимы оперативные изменения в работе СОУЭ, обеспечивающие выполнение ей своей целевой функции.

Одним из возможных направлений повышения эффективности функционирования СОУЭ является применение систем видеонаблюдения с использованием современных программно-аппаратных средств. Автоматизированные системы видеонаблюдения (АСВ) уже достаточно широко используются на различных объектах с массовым пребыванием людей. Такие системы характеризуются значительным количеством телевизионных камер, расположенных таким образом, чтобы оператор мог реагировать на критические ситуации, возникающие практически в любом месте объекта.

Даже в обычной обстановке количество ситуаций, с которыми одновременно приходится работать операторам, часто очень высоко. Вероятность того, что критические ситуации могут быть пропущены, возрастает пропорционально увеличению числа телевизионных камер.

С помощью сложных алгоритмов производится детальный анализ изображения объекта, схемы перемещений людей и формирование сигнала оператору только при конкретных возникающих условиях. Современные программные средства обеспечивают следующее (табл. 2.2) [2.10]:

- обнаружение несанкционированного проникновения людей на определенные участки объекта;
- коррекцию с учетом фонового движения в окружающей среде, а также изменения условий видимости;
- подсчет количества движущихся объектов, а также частоты периодически выполняемых действий;

- селективное обнаружение направления движения;

- распознавание конкретных предметов и людей;

- выделение и сопровождение нескольких людей или объектов по мере их движения в поле обзора, или из поля обзора одной телекамеры к другой;

- различение характера и особенностей движения.

Таким образом, применение специального программного обеспечения в АСВ позволяет содействовать операторам в обнаружении, предвидении, а, следовательно, и в увеличении возможности влияния на критическую ситуацию.

В табл. 2.2 представлены характерные ситуации, идентифицируемые АСВ в системах безопасности сложных объектов с добавлениями возможного применения уже известных программных средств для СОУЭ.

Таблица 2.2

Ситуация	Идентификационные признаки	На что указывает (следствие)
Блокировка передвижения людей	Группа людей остановилась в заранее определенной зоне	- затруднение входа или выхода при эвакуации; - давка; - карманная кража
Агрессивное поведение людей	Человек толкает, ударяет ногами, или группа людей хватает друг друга, или человек падает, находясь в окружении группы людей	- насилие; - драка; - давка; - попытка преодолеть препятствие при эвакуации
Нарушение людьми границ разрешенной зоны перемещения	Человек движется в определенном направлении, преодолевает ограждение (турникет)	- люди без билета (прыгающие через турникет); - движение при эвакуации в неправильном направлении
Хаотическое движение людей	Человек (люди) несколько раз входит в определенную зону (подходит к оборудованию и отходит от него)	- вандализм, направленный против оборудования, попытка кражи; - потеря ориентации в критической ситуации
Оставленный человеком или исчезнувший объект	Разделение (объединение) пары "человек-предмет", изменение положения объекта	- терроризм; - кража; - лежащий человек
Появление задымления или пламени. Определение возможности и условий эвакуации	Определение характерных изменений изображения объекта. Определение уровня освещенности и прозрачности среды	- пожар; - эвакуация

Некоторые многокамерные АСВ уже сейчас могут производить не только индивидуальные визуальные настройки, но и автоматическое реагирование на выбранную и распознанную ситуацию. Поэтому в таких системах возможно в результате дополнительного программирования на объекте ввести ряд функций по участию АСВ в управления движением людей при эвакуации. Конечно, с учетом специфики выполняемых дополнительных функций должна быть обеспечена определенная схема расположения оборудования. Однако чаще всего уже имеющееся расположение видеокамер представляет достаточно удобную исходную позицию, и ее изменение будет минимальным. Для вновь создаваемой АСВ схема размещения видеокамер должна учитывать комплексность решаемых ей задач.

Предлагаемая структурная схема автоматизированной интегрированной системы, решающей комплексные задачи пожарной сигнализации, пожаротушения, видеонаблюдения, контроля доступа, оповещения людей о пожаре и чрезвычайных ситуациях, а также управления эвакуацией, представлена на рис. 2.12.

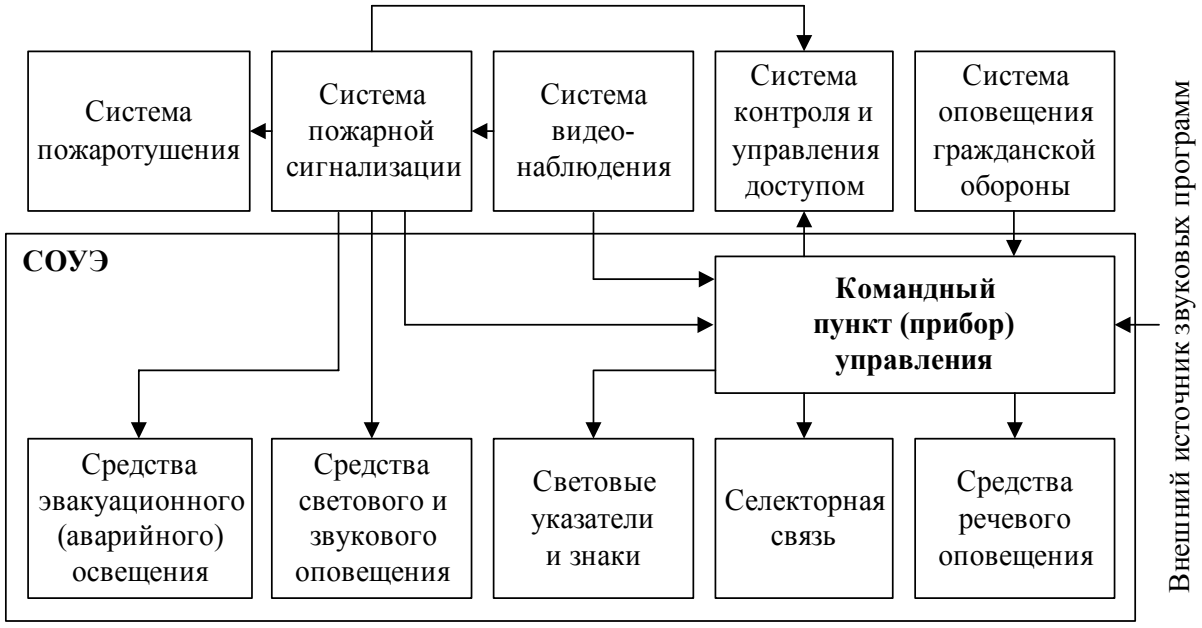

Рис. 2.12. Структурная схема автоматизированной интегрированной системы обнаружения, оповещения людей о пожарах и управления эвакуацией (СОУЭ)

Другим перспективным применением интегрированной АСВ может стать ее применение непосредственно пожарными подразделениями, прибывающими на объект. Применение видеокамер в этом случае поможет

более качественно проводить разведку пожара, прогнозировать опасные факторы пожара на путях эвакуации людей.

Следует отметить, что системные исследования в направлении расширения применения АСВ на основе современных достижений электроники в настоящее время отсутствуют. На наш взгляд, положительные результаты таких исследований и их внедрение в практику позволят существенно повысить пожарную безопасность сложных объектов с массовым пребыванием на них людей.

Литература

Глава 2

2.1. ***Кирюхина Т.Г., Членов А.Н.*** Технические средства безопасности. Часть 1. Охранная и охранно-пожарная сигнализация. Системы видеоконтроля. Системы контроля и управления доступом. –М.: НОУ "Такир", 2002.

2.2. ***Членов А.Н., Демехин Ф.В.*** Повышение эффективности обнаружения пожара с использованием видеотехнологий // Материалы тринадцатой научно-технической конференции "Системы безопасности" – СБ-2004. –М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. –С.96-99.

2.3. ***Членов А.Н., Демехин Ф.В.*** Обнаружение пожаров и загораний с использованием видеотехники // Материалы всероссийской научно-практической конференции "Проблемы обеспечения безопасности при ЧС". –С-Пб.: С-Пб ИГПС МЧС России, 2004.

2.4. ***Членов А.Н., Демехин Ф.В.*** Общие принципы построения видеодетектора пожара // Материалы четырнадцатой научно-технической конференции "Системы безопасности" – СБ-2005. –М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. –С.177-179.

2.5. ***Демехин Ф.В.*** Методы обнаружения пожара на основе видеотехнологий // Пожаровзрывобезопасность, №2. –М.: Пожнаука, 2006. –С.33-39.

2.6. ***Wixon E., Rocky H.*** Method and apparatus for determining ambient conditions from an image sequence, such as fog, haze or shadows. United States Patent № 6037976, Mar.14, 2000.

2.7. ***Yamagishi T., Kishimoto M.*** Fire detection system utilizing relationship of correspondence with regard to image overlap. United States Patent № 5926280, Jul.20, 1999.

2.8. ***Privalov G., Privalov D.*** Early fire detection method and apparatus. United States Patent № 6184792, Feb. 6, 2001.

2.9. ***Буцынская Т.А., Демёхин Ф.В.*** Автоматизация в системе оповещения и управления эвакуацией людей в экстремальных ситуациях на основе видеотехнологий // Материалы XIX научно-практической конференции "Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений", Часть 3. –М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2005. –С.159-165.

2.10. ***Демехин Ф.В., Буцынская Т.А., Землянухин Н.В.*** О возможности и перспективах применения систем видеонаблюдения для обеспечения безопасной эвакуации людей и повышения эффективности работы пожарных подразделений // Материалы научно-практической конференции "Перспективы развития пожарно-технической экспертизы и расследования пожаров". –С-Пб.: СПб. ИГПС МЧС России, 2005.