

Л.А. Сорокин

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: l.40in@ya.ru)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЧНОСТИ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Анализируются скорость реакции и надёжность распознавания личности на основе уникальности биометрии лица. Получена и экспериментально проверена теоретическая зависимость эффективности системы от объёма хранимых данных.

Ключевые слова: распознавание личности, системы видеонаблюдения, оценка эффективности.

L.A. Sorokin

ABOUT EFFECTIVENESS OF PERSONALITY RECOGNITION IN THE SAFETY SYSTEMS

Speed reaction and reliability of personal recognition based on a uniqueness of a person's biometrics is analyzed. Theoretic dependence of the system's efficiency on the volume of the stored data is received and experimentally tested.

Key words: personality recognition, video surveillance systems, assessment of effectiveness.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 12 июня 2016 г.

Введение

В местах массового пребывания людей наблюдается повсеместное использование видеокамер. Объём данных, поступающих с них, весьма значителен. Численность населения Москвы на январь 2016 г., по оценке Федеральной службы государственной статистики, составляет около 12 330 тыс. человек ⁶. Глава метрополитена Дмитрий Пегов на выступлении в Совете Федерации заявил, что ежедневный поток пассажиров московского метро составляет около 8 млн человек ⁷. Непосредственный просмотр видеоматериала с 22 тыс. видеокамер для выявления опасных личностей и событий сложно назвать эффективным инструментом по противодействию общественно-опасным преступным проявлениям и обеспечению общественного порядка в метро.

Для повышения эффективности обеспечения безопасности в местах массового пребывания людей предлагается создание автоматизированной системы, которая позволит оперативно получать данные о личности человека, в том числе, его прошлых правонарушений, если таковые были. Основными требованиями к подобным системам безопасности являются скрытность, оперативность и надёжность ¹. Данным требованиям и задачам отвечает автоматизированная система идентификации личности на основе автоматического распознавания биометрии лица.

Рассмотрим архитектуру *системы обеспечения безопасности (СОБ)*, в состав которой входят: *источник видеосигнала (ИВ)*, *модуль детектирования лиц (МД)*, *ядро идентификации лица (ЯИ)*, хранилище с изображениями и математическими моделями (шаблонами) лиц (рис.1).

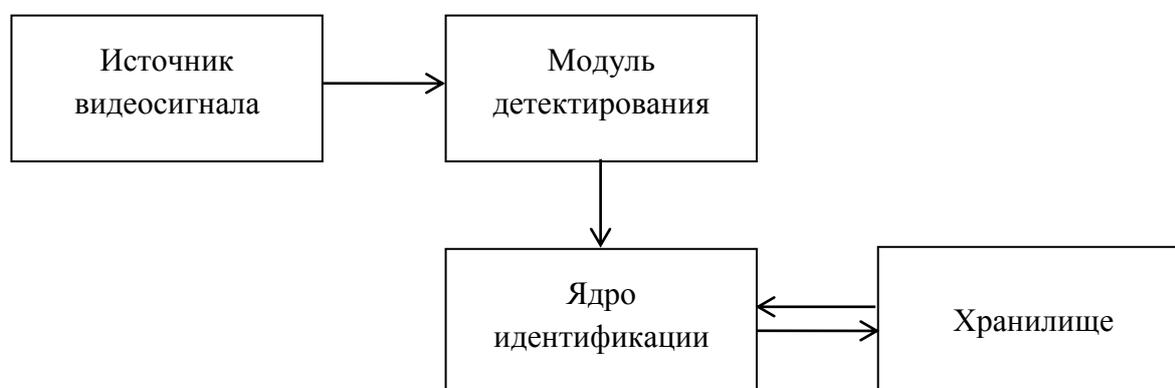


Рис. 1. Блок-схема архитектуры СОБ

Модуль детектирования лиц обеспечивает автоматическое обнаружение изображений лиц в видеопотоке от источника видеосигнала. В ядре идентификации осуществляется сравнение изображений лиц, полученных в результате детектирования и размещенных в хранилище.

В рамках статьи в качестве хранилища рассматривается как *база данных (БД)*, реализуемая на основе одного из существующих решений в области систем управления базами данных, так и *оперативная память (ОП)* сервера.

В результате работы ЯИ формируется рекомендательный список, на основе которого оператор СОБ принимает решение о личности на анализируемом изображении.

Существует несколько типов СОБ, классифицируемых по типу хранения данных о распознаваемых людях. Первый тип связан с наличием у СОБ специального хранилища, содержащего информацию о шаблонах лиц, например, в виде *локальных бинарных шаблонов (ЛБШ)* 9. Для идентификации человека необходимо произвести сравнение шаблона лица распознаваемого человека с шаблонами в хранилище.

В другом типе СОБ предполагается, что биометрическая информация и её "шаблон хранятся на карте, которая всегда под контролем владельца" 4. Соответственно, при идентификации человека необходимо осуществить проверку наличия заданной информации в хранилище СОБ по адресу, указанному в предъявляемой карте.

Оценка скорости распознавания лиц от объёма хранимой информации

С целью оценки скорости реакции СОБ рассмотрим временные характеристики при обработке запросов. Под запросом будем понимать сформированное обращение СОБ к хранилищу на идентификацию человека. Скорость обработки запросов и объём данных имеют обратную зависимость.

Время обработки n запросов можно посчитать по следующей формуле:

$$t_{\text{в-обр}} = n t_{\text{обр}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{в-обр}}$ – время обработки всех n запросов (от одного или более модулей видеодетектирования);

$t_{\text{обр}}$ – время обработки одного запроса, при этом

$$t_{\text{обр}} = t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}} + t_{\text{выб}} m, \quad (2)$$

где $t_{\text{рег}}$ – время, затраченное на регистрацию объекта (выделение лица из видеопотока и формирование фотопортрета интересанта);

$t_{\text{ш}}$ – время предобработки (формирование шаблона лица) для дальнейшего анализа его средствами поиска в хранилище;

$t_{\text{выб}}$ – время формирования данных из хранилища по запросу ЯИ и передачи данных по очередной записи из хранилища.

В случае хранения шаблона на карте интересант предъявляет данный носитель информации. На карте хранится информация о шаблоне и сведения об адресе шаблона в хранилище, с которым необходимо произвести сравнение. Без ограничения общности будем полагать, что в этом случае время регистрации, предобработки и формирования данных то же, что и при идентификации человека на основе биометрии лица. Однако, для данной СОБ не требуется осуществления поиска, достаточно обратиться к хранилищу по адресу, указанному на карте. Тогда при предъявлении карты с информацией о шаблоне формула (2) представляется следующим образом:

$$t'_{\text{обр}} = t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}} + t_{\text{выб}}, \quad (3)$$

при этом отношение $T_{\text{соб}}$ (скорости обработки для разных типов СОБ) определится так:

$$T_{\text{соб}} = \frac{t'_{\text{обр}}}{t_{\text{обр}}} \quad (4)$$

или

$$T_{\text{соб}} = \frac{t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}} + t_{\text{выб}}}{t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}} + m t_{\text{выб}}}. \quad (5)$$

Далее $T_{\text{соб}}$ будем называть **относительной реакцией системы (ОРС)**. Представим ОРС параметром СОБ, используемым для количественной оценки времени её работы по единичному запросу. Фактически ОРС – это зависимость времени обработки единичного запроса (запроса, содержащего данные на одного интересанта) от количества записей в хранилище. Иными словами ОРС – это скорость реакции на запрос к хранилищу. Под хранилищем подразумевается как центральная БД или её локальные "продолжения" в виде определённых локальных БД, так и оперативная память, используемая для повышения оперативности обработки информации.

Из выражения (5) следует, что время ОРС зависит от количества записей в хранилище. Но на количественное значение ОРС влияют расположение хранилища в СОБ, пропускная способность каналов связи и структура организации информации в СОБ. Влияние последней характеристики может как снижать, так и увеличивать значение ОРС.

Время, затраченное на регистрацию объекта, и время предобработки, как правило, являются результатами совместной работы модуля видеодетектирования и ЯИ. Если считать, что данные элементы в рамках всего класса рассматриваемых СОБ имеют одинаковые характеристики, а изменяется только тип обработки информации после получения шаблона, то следует принять за некоторую константу, по отношению к $T_{\text{СОБ}}$, сумму времени регистрации объекта и предобработки. Кроме того, будем считать, что $C_{\text{СОБ}}$ – характеристика СОБ, полученная в результате работы ряда одинаковых технических средств и алгоритмов, которая описывается формулой:

$$C_{\text{СОБ}} = (t_{\text{рег}} + t_{\text{ш}}). \quad (6)$$

Выражение (5) преобразуется следующим образом:

$$T_{\text{СОБ}} = \frac{C_{\text{СОБ}} + t_{\text{выб}}}{C_{\text{СОБ}} + m t_{\text{выб}}}. \quad (7)$$

Далее детально рассмотрим время $t_{\text{выб}}$:

$$t_{\text{выб}} = t_{\text{кс}} + t_{\text{х}} + t_{\text{стр}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{кс}}$ – время, затраченное на передачу шаблона по всем возможным каналам связи, которые в своей работе использует СОБ (оно невелико, если хранилище расположено на одном сервере с ядром идентификации и модулями видеодетектирования, что распространено в системах контроля управления доступом);

$t_{\text{х}}$ – время, затраченное СОБ на получение информации по конкретному интересанту из хранилища с учётом реализации структуры данных;

$t_{\text{стр}}$ – время обработки запроса с учётом структуры хранения информации.

Рассмотрим более подробно два последних элемента. Время $t_{\text{х}}$ характеризует качество работы конкретного программного средства в совокупности с вычислительными мощностями, используемыми в качестве сервера хранилища. В него входит время подготовки запроса на ЯИ (например, для БД – это *SQL* – Structure Query Language) и время выполнения данного запроса для конкретного хранилища (в ОП или БД). Это время зависит от количества записей в хранилище, будем полагать, что данная зависимость линейна, то есть

$$t_{\text{х}} = a_{\text{х}} m + b_{\text{х}}, \quad (9)$$

где $a_{\text{х}}$ и $b_{\text{х}}$ – константы, характеризующие конкретное хранилище.

Рассмотрим время обработки запроса с учётом структуры хранения информации. Данная величина характеризует качество структуры хранения информации, например, организацию таблиц и полей в БД. Время обработки запроса с учётом структуры хранения информации – величина, зависящая от количества записей в хранилище. Данный вид зависимости требует отдельной проработки, будем также полагать, что эта зависимость линейна. Кроме того, при определенных допущениях возможно включение параметра $t_{\text{кс}}$ в состав $t_{\text{стр}}$, тогда скорректированная формула (8) с учётом выражения (9) будет

выглядеть следующим образом:

$$t_{\text{выб}} = a'_x m + b'_x, \quad (10)$$

где a'_x и b'_x – константы, характеризующие конкретное хранилище, скорректированные с учётом использования в них данных о $t_{\text{кс}}$ и $t_{\text{стр}}$.

Далее формулу (7) можно записать в следующем виде:

$$T_{\text{соб}} = \frac{a'_x m + b'_x + C_{\text{соб}}}{a'_x m^2 + b'_x m + C_{\text{соб}}}. \quad (11)$$

Подобрав соответствующим образом коэффициенты в уравнениях верхней и нижней части, упростим выражение (11). Пусть в общем случае решениями уравнения $a'_x m^2 + b'_x m + C_{\text{соб}}$ являются некоторые значения p и q . Тогда, исходя из правил решения квадратных уравнений, получается:

$$a'_x m^2 + b'_x m + C_{\text{соб}} = a'_x (m + p) (m + q). \quad (12)$$

После этого, учитывая, что

$$b'_x + C_{\text{соб}} = b''_x, \quad (13)$$

и установив соответствие

$$a'_x m + b''_x = Q_0, \quad (14)$$

где Q_0 – некоторая переменная, выражение $a'_x m + b'_x + C_{\text{соб}}$ определим через некоторую величину, обозначенную как $Q_{\text{соб}}$:

$$a'_x m + b''_x = (m + p) + Q_{\text{соб}}, \quad (15)$$

где (что следует из приравненных правых частей (14) и (15))

$$Q_{\text{соб}} = Q_0 \left(1 - \frac{1}{a'_x}\right) + \frac{b''_x}{a'_x} - p. \quad (16)$$

Формулу (11) можно записать в следующем виде:

$$T_{\text{соб}} = \frac{m + p + Q_{\text{соб}}}{a'_x (m + p) (m + q)} \quad (17)$$

или

$$T_{\text{соб}} = \frac{1}{a'_x (m + q)} + \frac{Q_{\text{соб}}}{a'_x (m + p) (m + q)}. \quad (18)$$

Аналогичный вариант (18) может быть записан и с другим корнем уравнения (12), тогда (18) примет следующий вид:

$$T_{\text{соб}} = \frac{1}{a'_x (m + p)} + \frac{Q_{\text{соб}}}{a'_x (m + p) (m + q)}. \quad (19)$$

Данный вариант не рассматривается в исследовании в связи с аналогичностью с первым.

Из выражения (11), а также из формул (17) и (18) следует, что ОРС обратно пропорционально зависит от квадрата числа записей в хранилище. Для условности введём следующие обозначения:

$$A_{\text{соб}} = \frac{1}{a'_x (m + q)}, \quad (20)$$

$$B_{\text{соб}} = \frac{Q_{\text{соб}}}{a'_x (m + p) (m + q)}. \quad (21)$$

Рассмотрим графики $T_{\text{соб}}$, $A_{\text{соб}}$ и $B_{\text{соб}}$ в двумерных прямоугольных декартовых координатах. При этом будем считать, что графики являются непрерывными, несмотря на дискретный характер числа записей в хранилище.

На рис. 2 приведена зависимость ОРС ($T_{\text{собр}}$) от количества записей в хранилище.

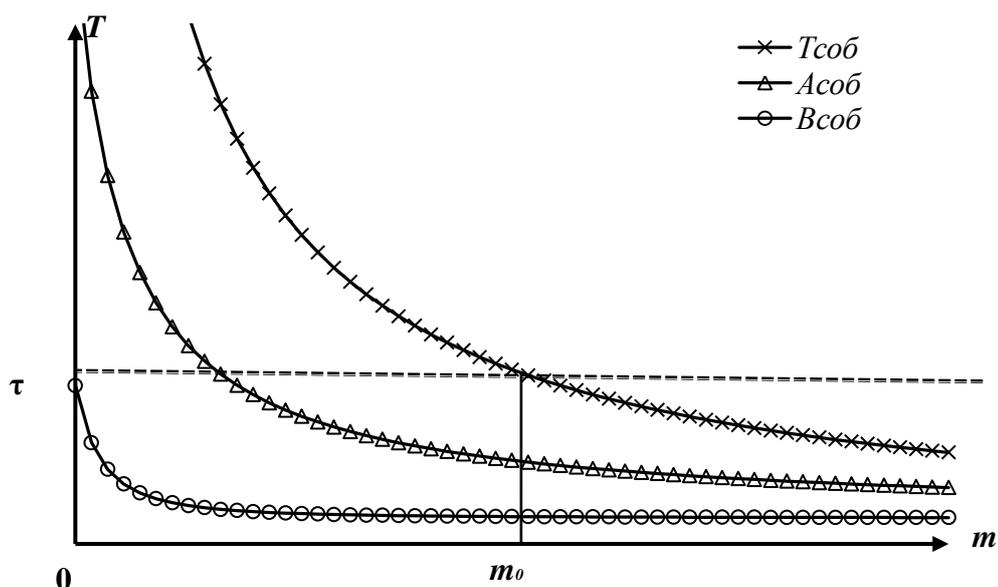


Рис. 2. Зависимость ОРС от объема хранилища

Нулевое значение m соответствует пустому хранилищу. В этом случае обработка записи при получении запроса не выполняется. Пунктиром указан **нижний порог эффективности (НПЭФ)** СОБ. Будем полагать, что использование СОБ со значением ОРС ниже порога эффективности нецелесообразно. Таким образом, для эффективного функционирования СОБ должно выполняться следующее условие:

$$T_{\text{собр}} > \tau. \quad (22)$$

Следовательно, необходимо, чтобы количество данных в хранилище не превышало некоторого значения m_0 , то есть

$$m < m_0. \quad (23)$$

Таким образом, объем данных в хранилище СОБ не должен превышать некоторого предельного значения, величина которого определяет эффективность взаимодействия СОБ с оператором. Далее эту величину (m_0) будем именовать **верхним порогом числа записей (ВПЧЗ)** хранилища. Предположим, что СОБ эффективно функционирует в режиме "реального времени", если идентификация человека осуществляется быстрее, чем за одну секунду. Следовательно, НПЭФ и ВПЧЗ необходимо выбирать на основании данного условия.

Для проверки описанной выше зависимости был разработан и реализован экспериментальный стенд. Состав стенда: ЭВМ с оперативной памятью 8 Гб и процессором Intel® Core™ i7-740QM Processor 1.73 ГГц, разработанное программное обеспечение с возможностью распознавания лиц с использованием метода ЛБШ 9, БД MS SQL Server 2012 с разработанной структурой хранения данных, адаптированной под сохранение изображений, и ЛБШ лиц 3. Информация для экспериментальной проверки была взята из БД Color FERET 9. Данная БД создавалась в экспериментальных целях под контролем Агентства по

перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) и Национального института стандартов и технологий США (NIST) и в настоящее время находится в открытом доступе. Эксперимент проводился более чем на 4000 изображений лиц людей. В качестве хранилища использовалась как БД, так и ОП. В результате экспериментов были получены зависимости времени распознавания и ОРС от количества изображений лиц в БД и ОП (рис. 3, 4).

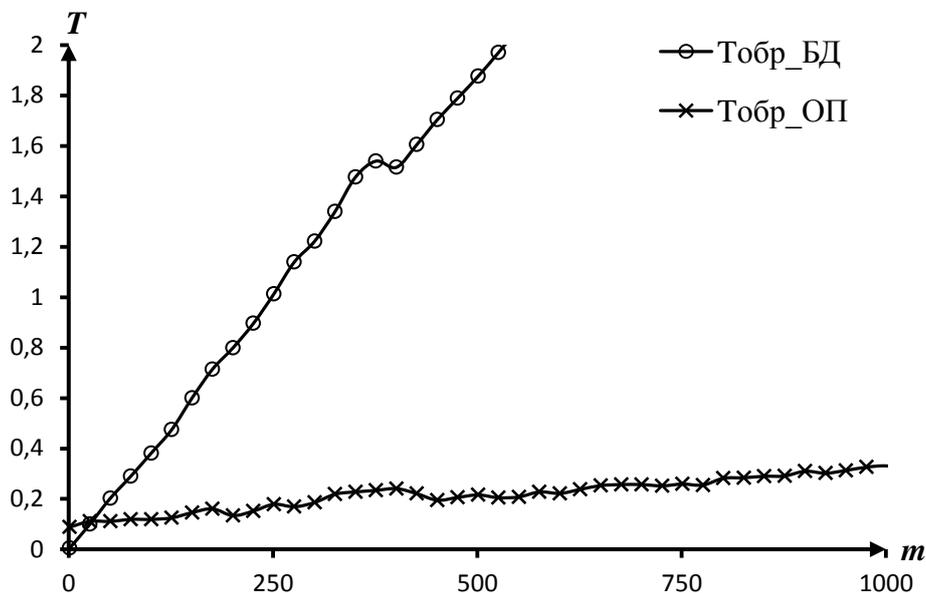


Рис. 3. Зависимость скорости реакции СОБ от объема хранимой информации в БД и ОП

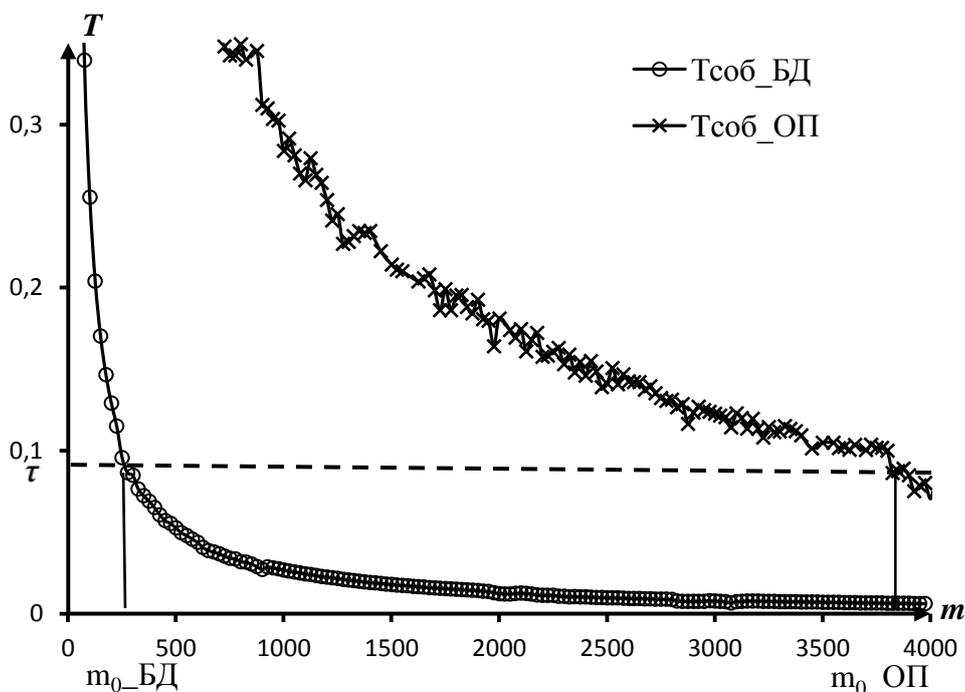


Рис. 4. Зависимость ОРС от объема хранимой информации в БД и ОП

Из анализа графиков (рис. 3, 4) следует, что при использовании в качестве хранилища ОП время распознавания существенно ниже, чем при использовании БД.

В соответствии с вышеизложенными условиями, в результате эксперимента НПЭФ (τ) составил 0,08, при использовании БД ВПЧЗ (m_0) составил 251, а в случае ОП – 3776 изображений.

Зависимость надёжности идентификации от объёма хранимой информации

Надёжность систем биометрической идентификации принято рассматривать в контексте вероятности следующих ошибок 8:

1. Ошибки первого рода или *false rejection rate (FRR)*. Данные ошибки отображает случаи, когда СОБ не распознает человека, информация о котором содержится в хранилище.

2. Ошибки второго рода или *false acceptance rate (FAR)*. В случае, когда СОБ ложно идентифицирует человека и принимает его за другого, будем считать, что допущена ошибка второго рода.

Однако в случае применения в СОБ кластерной модели, а именно принципа "один кластер – один человек" 2, наиболее критичной является ошибка FAR, а не FRR. При функционировании СОБ на открытом множестве ошибка FRR приведет к созданию нового кластера, вследствие чего в результате поискового запроса будет представлена информация о нескольких кластерах. В случае же ошибки FAR кластер будет содержать информацию о разных людях. Данная ошибка отрицательно скажется как на точности распознавания, так и на достоверности результатов запросов оператора. Далее будем рассматривать зависимость надёжности СОБ от объёма хранилища в контексте вероятности ошибки 2-го рода.

Оценим *нижний порог числа записей (НПЧЗ)* в хранилище исходя из надёжности распознавания. Для потока из n человек и хранилища, в котором содержится информация об m человек, вероятность возникновения ошибки второго рода (FAR_{mn}) можно рассчитать следующим образом:

$$FAR_{mn} = m n FAR. \quad (24)$$

Для надёжного функционирования СОБ объём информации в хранилище должен быть заведомо выше потока людей ($m > n$). Тогда без ограничения общности примем $n = m$. Допустив одну ошибку ложного совпадения на весь поток людей, можно получить оценку ошибки 2-го рода от объёма хранилища:

$$m \approx \frac{1}{\sqrt{FAR}}. \quad (25)$$

Согласно рекомендациям Минстроя России по проектированию вокзалов, пропускная способность среднего железнодорожного вокзала составляет от 200 до 700 пассажиров в час 5. Из анализа графика зависимости значения

ошибки 2-го рода от объёма человеческого потока на среднем вокзале (рис. 5) следует, что в местах массового пребывания людей можно не учитывать НПЧЗ. Это объясняется тем, что даже при нижней границе человеческого потока (200 чел./ч) вероятность ошибки 2-го рода составляет $2,5 \cdot 10^{-5}$, а при достижении верхней границы (700 чел./ч) уменьшается до $2 \cdot 10^{-6}$. Таким образом, будем считать, что в местах массового пребывания людей условие НПЧЗ всегда выполняется.

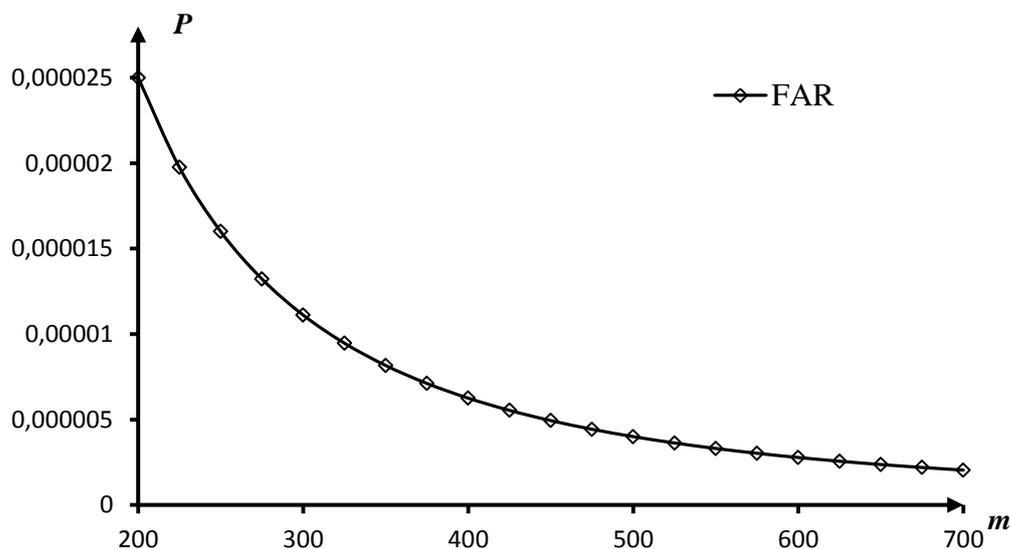


Рис. 5. Зависимость FAR от объёма хранилища

Вывод

Проведённые автором исследования позволяют сделать ряд выводов в отношении построения СОБ. Для эффективной работы СОБ с возможностью распознавания лиц необходимо делить общий массив информации о лицах на части (кластеры). Данные кластеры должны составлять такую величину, которая позволит иметь необходимый объём информации для распознавания лиц, но количество кластеров должно позволять проводить распознавание за приемлемое время.

Увеличение скорости распознавания может быть достигнуто за счёт использования распределённых хранилищ различного типа. Следовательно, эффективной является СОБ, в которой не превышен ВПЧЗ. В данных предпосылках для работы СОБ в режиме "реального времени" предлагается использование распределённых хранилищ различного типа с применением кластеризации изображений по принципу: один человек – один кластер. Основной целью предлагаемого решения является минимизация количества запросов к хранилищу на распознавание человека и повышение скорости распознавания.

В силу высокой стоимости и ограниченности объёма ОП, предлагается её использовать для хранения лимитированного набора изображений одного человека, которые наиболее полно и качественно его представляют (центры кластеров), а БД – для долгосрочного хранения информации. Таким образом, при поступлении изображения лица человека с модулей видеодетектирования, будет достаточно сравнить его шаблон лица с шаблонами центров кластеров, хранимых в ОП. Теоретическая модель и эксперименты показывают, что данное ограничение объёмов поиска сократит количество вычислительных операций и увеличит скорость и надёжность реакции системы обеспечения безопасности.

Литература

1. **Сорокин Л.А.** Автоматизированная система скрытой идентификации личности человека // Матер. 22-й междунар. науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2013". М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. С. 246-249.
2. **Сорокин Л.А.** Кластерная информационная модель видеофиксации человеческой личности // Матер. 24-й междунар. науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2015". М.: Академия ГПС МЧС России, 2015.
3. **Сорокин Л.А.** Модель базы данных видеофиксации человеческой личности // Матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. "Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций". Воронеж: Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015.
4. **Петрова О., Райлян А.** Обзор существующих методов биометрической идентификации. <http://sec4all.net/modules/myarticles/article.php?storyid=1265>.
5. **МДС 32-1.2000**, Рекомендации по проектированию вокзалов, М., 1997. http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5259/.
6. **Федеральная** служба государственной статистики. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce.
7. **Пегов Д.** Ежедневно метро Москвы перевозит 8 млн человек. <http://delate.info/41732-dmitriy-pegov-ezhednevno-metro-moskvy-perevozit-8-mln-chelovek.html>.
8. **Современные** биометрические методы идентификации. habrahabr.ru/post/126144.
9. **База** данных Color FERET. <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/colorferet.cfm>.
10. **Ahonen T., Hadid, A., Pietikainen M.** Face Recognition with Local Binary Patterns // Computer Vision ECCV. 2004. Pp. 469-481.