



ББК 67.521.5  
УДК 343.982.4  
doi: 10.25724/VAMVD.UXYZ

**М. В. Бобовкин,**

профессор кафедры исследования документов  
учебно-научного комплекса судебной экспертизы  
Московского университета МВД России имени В. Я. Кикотя,  
профессор кафедры уголовного права, уголовного процесса  
и криминалистики Российского университета транспорта,  
профессор кафедры цифровой криминалистики  
Московского государственного технического университета  
имени Н. Э. Баумана,  
доктор юридических наук, профессор;

**О. А. Диденко,**

заместитель начальника кафедры исследования документов  
учебно-научного комплекса судебной экспертизы  
Московского университета МВД России имени В. Я. Кикотя,  
кандидат юридических наук;

**А. Е. Нестеров,**

руководитель отдела разработки клиентской части компании  
ООО «ЛендсБэй»

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
РАЗДЕЛЬНОГО И СРАВНИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЧАСТНЫХ ПРИЗНАКОВ ПОЧЕРКА  
НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ФРОСЯ»**

В статье рассматриваются актуальные вопросы судебного почерковедения и судебно-почерковедческой экспертизы.

На основе анализа общенаучных и криминалистических данных авторы формулируют собственный взгляд на возможность компьютерного моделирования раздельного и сравнительного анализа частных признаков почерка в судебном почерковедении.

Отмечается, что с 1960-х гг. судебное почерковедение – первый раздел криминалистики, в рамках которого были предприняты эффективные попытки использования ЭВМ. В итоге был создан целый комплекс программного обеспечения для решения задач судебно-почерковедческой экспертизы. Центральное место в нем занимают программы «ДИА», «Прост», «Признак», «Око», «Рабочее место эксперта-почерковеда».

Однако указанные программы имеют существенные недостатки в виде трудоемкого процесса формализации почерковых объектов и последующего ввода их в память ЭВМ. Для них свойственны неинтуитивный интерфейс, длительность расчетов, сложность поддержки кодовой базы, зависимость от операционных систем и технических характеристик используемого экспертом компьютера и т. д.



Для дальнейшего развития компьютерных технологий в судебном почерковедении и судебно-почерковедческой экспертизе был создан прототип программного комплекса «Фрося», предназначенный для производства на его основе отдельного и сравнительного анализа частных признаков почерка. Данный прототип, благодаря опыту предшествующих программ, современным технологиям и грамотному проектированию, удовлетворяет условиям широкой доступности. Вместе с тем он выступает инструментом, осуществляющим вспомогательные функции, и не призван полностью автоматизировать процесс идентификации исполнителя рукописи. Структура прототипа при дальнейшей модернизации может быть применена в деятельности судебно-экспертных учреждений Российской Федерации.

*Ключевые слова:* судебное почерковедение, судебно-почерковедческая экспертиза, использование ЭВМ, компьютерное моделирование отдельного и сравнительного анализа частных признаков почерка, прототип программного комплекса «Фрося».

**M. V. Bobovkin,**

professor at the department of document research  
of educational and scientific complex of forensic examination  
of Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation  
named after V. Ya. Kikot,

professor at the department of criminal law, criminal procedure  
and forensic science of the Russian University of transport,

professor at the department of digital forensics  
of Moscow State Technical University named after N. E. Bauman,  
doctor of juridical sciences, professor;

**O. A. Didenko,**

deputy head of the department of document research  
of educational and scientific complex of forensic examination  
of Moscow University of the Ministry of Internal Affairs  
of the Russian Federation named after V. Ya. Kikot,  
candidate of juridical sciences;

**A. E. Nesterov,**

head of the development department of client side of the company  
LLC "LandsBay"

**COMPUTER SIMULATION  
OF SEPARATE AND COMPARATIVE STUDY  
OF PRIVATE CHARACTERISTICS BASED  
ON THE "FROSYA" SOFTWARE COMPLEX**

The article examines topical issues of forensic handwriting studies and forensic handwriting examination.

Based on the analysis of general scientific and forensic data, the authors formulate their own views on the possibility of computer modeling of separate and comparative analysis of particular features of handwriting in forensic handwriting.



It is noted that since the 1960s, forensic handwriting has become the first section of forensic science, where effective attempts were made to use computers. As a result, a whole complex of software was created to solve the problems of forensic handwriting examination. The central place in it is occupied by the programs "DIA", "Prost", "Sign", "Eye", "Workplace of a handwriting expert".

However, these programs have significant drawbacks in the form of a laborious process of formalizing handwriting objects and their subsequent entry into the computer memory. In addition, they are characterized by a non-intuitive interface, the duration of calculations, the complexity of maintaining the code base, dependence on operating systems and the technical characteristics of the computer used by the expert, etc.

With the aim of further development of computer technologies in forensic handwriting and forensic handwriting examination, a prototype of the Frosya software complex was created, intended for the production on its basis of a separate and comparative analysis of particular features of handwriting. The specified prototype, thanks to the experience of previous programs, modern technologies and competent design, satisfies the conditions of wide availability. At the same time, it acts as a tool that performs auxiliary functions and is not intended to fully automate the process of identifying the performer of a manuscript. The structure of this prototype, with further modernization, can be applied in the activities of forensic institutions of the Russian Federation.

*Key words:* forensic handwriting, forensic handwriting examination, computer use, computer modeling of separate and comparative analysis of particular features of handwriting, prototype of the "Frosya" software package.

В настоящее время в различных областях деятельности человека используется полуавтоматизированный или автоматизированный подход к решению специальных задач. Это дает неоспоримое преимущество в объеме и скорости обрабатываемых данных, результативности использовании полученной информации. Данные процессы все чаще затрагивают сферу судебного почерковедения и судебно-почерковедческой экспертизы.

С 1960-х гг. судебное почерковедение – первый раздел криминалистики, в рамках которого были предприняты эффективные попытки использования ЭВМ. В итоге был создан целый комплекс программного обеспечения для решения задач судебно-почерковедческой экспертизы. Центральное место в нем занимают программы «ДИА», «Прост», «Признак», «Око», «Рабочее место эксперта-почерковеда». Их главными достоинствами является высокая точность и оригинальная математическая база [1; 2; 3]. Вместе с тем указанные программы имеют существенные недостатки в виде трудоемкого процесса формализации почерковых объектов и последующего ввода их в память ЭВМ. Кроме того, для них свойственны неинтуитивный интерфейс, длительность расчетов, сложность поддержки кодовой базы, зависимость от операционных систем и технических характеристик используемого экспертом компьютера и т. д.

С учетом потребности развития компьютерных технологий в судебном почерковедении и судебно-почерковедческой экспертизе, имеющегося опыта исследований в данном направлении был проведен эксперимент по созданию прототипа программного комплекса «Фрося», предназначенного для производства на его основе раздельного и сравнительного анализа частных признаков почерка.



Программный комплекс «Фрося» состоит из четырех основных модулей:

1. Модуль пользовательского интерфейса. Представляет собой веб-интерфейс, который состоит из страниц настроек, панели входа, личного кабинета и электронной таблицы разработки. Он же включает серверную часть, взаимодействующую с базами данных и модулями, обеспечивающими различные математические расчеты.

2. Модуль дифференциации буквенных обозначений. Использует технологии сверхточных нейронных сетей и алгоритмы сегментации для дифференциации буквенных обозначений и возвращает изображение отдельной буквы в модуль поиска частных признаков почерка.

3. Модуль поиска частных признаков почерка. Основан на использовании сверхточных нейронных сетей. В нем реализуются задачи поиска и дифференциации частных признаков почерка для выведения подсказок эксперту в электронную таблицу разработки, учета вариационности признаков и логирования результатов работы в модуле интерфейса.

4. Мобильный сетевой модуль. Представляет собой приложение на смартфон для ввода почерковых объектов в интерфейс, а также подготовки данных для их дальнейшего использования в качестве входных параметров сверхточной нейронной сети.

Главными задачами программного комплекса «Фрося» являются:

1. Уменьшение влияния субъективных факторов личности эксперта путем осуществления контроля при производстве судебно-почерковедческой экспертизы в реальном времени вышестоящими должностными лицами.

2. Сокращение времени производства экспертизы путем вывода графических подсказок напрямую из автоматической системы поиска частных признаков почерка, что помогает эксперту быстрее проводить отдельный и сравнительный анализ частных признаков почерка.

3. Упрощение взаимодействия эксперта с программным обеспечением.

4. Предотвращение потери статистических данных, образующихся в процессе исследования.

Разработка модуля интерфейса программного комплекса «Фрося» линейна и не требует особой алгоритмической «подоплеки». Единственной проблемой, вставшей на пути его реализации, стало обеспечение доступности и скорости работы. Она является весьма актуальной, так как в экспертно-криминалистических подразделениях в основном применяется оборудование различной конфигурации (с разными техническими характеристиками), а также операционные системы различных видов, и выпуск программного комплекса, зависящего от вычислительных и конфигурационных возможностей устройств, противоречит понятию доступности.

Решением указанной проблемы стала разработка модуля интерфейса в качестве веб-приложения, которое интерпретируется браузером и игнорирует зависимость от операционных систем. Однако остается недостаточность вычислительных мощностей для модулей, использующих сложный алгоритмический подход. В связи с этим все вычислительные процессы были перенесены на сторону сервера, после чего архитектура распределения ответственности приняла следующий вид (рис. 1).



Рис. 1. Архитектура распределения вычислительных мощностей в зависимости от решаемых задач

Таким образом удалось снизить нагрузку на пользовательские устройства. Однако при практических испытаниях программного комплекса выяснилось, что не все устройства могут обрабатывать и эти незначительные нагрузки. Данный факт обусловлен тяжелым рендерингом virtual DOM, который располагается на стороне клиента. Решением проблемы могло бы стать применение библиотеки svelte, которая собирает все модули клиентской части единовременно, однако поддерживать такой проект в России проблематично в связи с недостатком специалистов. Поэтому рендеринг клиентской части был перенесен на сторону сервера, и стала использоваться библиотека Next, что помогло уменьшить нагрузку на пользовательские устройства на 98 %.

Клиентский модуль определенно важен – это то, что видит перед собой эксперт и с чем ему придется взаимодействовать. В связи с этим были приложены большие усилия для обеспечения скорости работы и независимости программного комплекса от операционных систем и технических характеристик устройств. Однако данные действия не гарантируют полного достижения доступности. Для решения этой задачи необходимо учесть фактор юзабилити – возможности интуитивно понятного взаимодействия с программным комплексом. Нежелательно также заставлять экспертов писать код и проходить дополнительное обучение работе с программным комплексом. Поэтому был создан интерфейс по образу и подобию таблицы разработки частных признаков почерка, в составлении которой эксперт профессионально ориентируется. После реализации опытного прототипа было проведено исследование, доказавшее гипотезу об удобстве использования этого интерфейса, и задача доступности была решена, а пользовательский интерфейс принял следующий вид (рис. 2).



"ФРОСЯ" Вернуться в главное меню | Завершить экспертизу | Выгрузить в PDF | Сохранить

Алфавитная таблица-разработка частных признаков почерка к заключению эксперта №  от

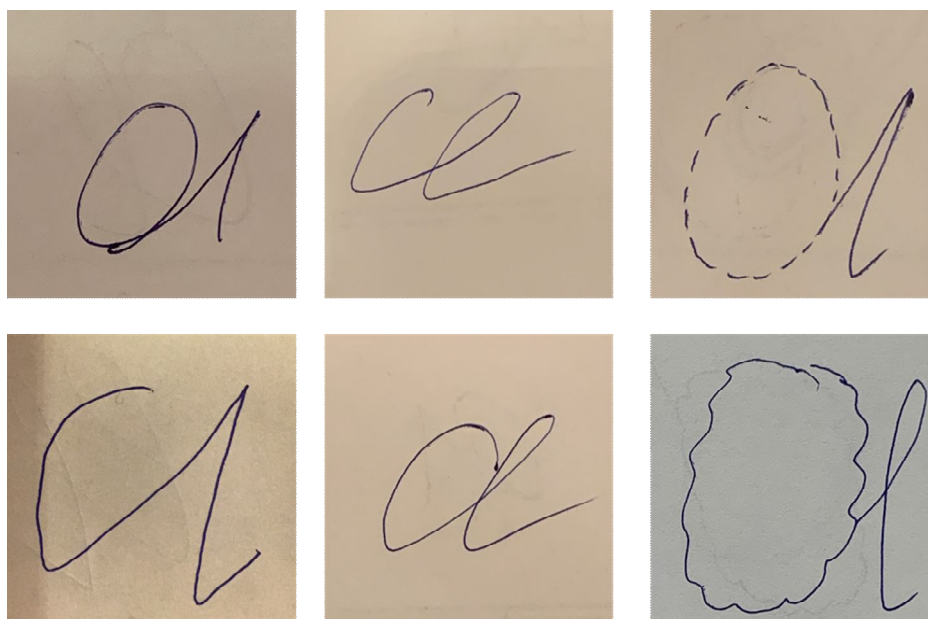
Буква алфавита	Конкретное выражение признаков		Результат сравнения
	В исследуемом рукописном тексте	В образцах почерка <input type="text"/>	
A	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">A<sup>x</sup></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">A<sup>x</sup></div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">+</div>		
a	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">a<sup>x</sup></div> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">+</div> </div>		
+			

Рис. 2. Экран программного комплекса «Фрося»

Несмотря на большое значение доступности и реализации пользовательского интерфейса, важнейшими задачами, решаемыми комплексом «Фрося», являются программная дифференциация буквенных изображений, поиск и дифференциация частных признаков почерка для выведения интерактивных подсказок эксперту, а также для последующего сбора статистически важных данных.

Перечисленные задачи были реализованы с помощью алгоритмов сверхточных нейронных сетей. Однако при первых попытках обучения сети мы получили точность 67 %, этого явно недостаточно. Для повышения точности обучаемости мы начали поэтапную работу.

Предварительный этап – редактирование данных для обучения. К примеру, для определения формы движения при выполнении второго элемента строчной буквы «а» нужно максимально абстрактно воспринимать конфигурацию первого элемента и учесть вариационность изучаемого элемента. Для этого в некоторые данные были внесены различного рода искажения в целях уменьшения влияния весовых коэффициентов коррелирования зависимостей ненужных нам частей (рис. 3).



Основной набор данных.  
Угловатая форма движения  
при выполнении 2-го элемента  
строчной буквы «а»

Основной набор данных.  
Петлевая форма движения  
при выполнении 2-го элемента  
строчной буквы «а»

Дополнительный набор  
данных

Рис. 3. Пример данных, применяемых для обучения сверточной нейронной сети

Таким образом нам удалось формализовать буквенные изображения и учесть вариационность.

Однако данный метод предполагает детальную и индивидуальную работу с каждой буквой (только на момент обучения).

После редактирования данных, предоставляемых на вход сети, и изучения промежуточных результатов обучения сети был сделан вывод, что одной из проблем, дающих низкий процент точности сети, является переобучение сети.

Первым этапом «борьбы» с переобучением и повышением точности сети стало внесение некоторых корректив в процесс обучения. Изначально он состоял из 35 эпох в виде количества итераций предоставления сети всех изображений из обучающего множества. Однако это оказалось слишком большим числом для данного вида объектов, находящихся на изображении. В связи с этим количество эпох было уменьшено до 25 и, следовательно, снижен объем обучаемых данных. Итогом внесения корректив стало улучшение показателей точности сети до 69 %.

Второй этап – использование метода расширения полученных данных. Он заключается в том, что уже имеющиеся данные, предназначенные для обучения искусственной сверточной нейронной сети, подвергаются различным деформациям:

- случайный поворот изображения (от 0 до 45 градусов);
- случайный скейлинг изображения;



- случайное сдвиговое преобразование;
- случайное переворачивание половины изображения по горизонтали (в результате предположения о горизонтальной асимметрии);
- диапазоны (по высоте и ширине), в пределах которых изображения смещаются по оси  $x$  и  $y$ ;
- заполнение вновь созданных пикселей.

Таким образом данный метод увеличил точность сети еще на 5 %, что в сумме составило 74 % точности.

Третий этап – применение слоя DropOut перед заключительным линейным слоем. Данный метод заключается в равновероятном аннулировании весового коэффициента определенного процента (в данном случае 50 %) случайных узлов на разных эпохах обучения нейронной сети. Формально алгоритм DropOut для этапа обучения сети выглядит следующим образом:

$$O_i = X_i \sigma \left( \sum_{k=1}^{d_i} w_k x_k + b \right), \quad 1$$

где  $\sigma(x)$  – функция активации, а  $h(x) = x(W+b)$  – линейная проекция входного  $d_i$ -мерного вектора  $x$  на  $d_h$ -мерное пространство выходных значений.

Для этапа тестирования алгоритм выглядит следующим образом:

$$O_i = q \sigma \left( \sum_{k=1}^{d_i} w_k x_k + b \right). \quad 2$$

Следовательно, данный алгоритм позволил улучшить показатели точности сети и привести их к значению 78 % точности.

Четвертый этап исследования – использование переобученных весовых коэффициентов сверхточной нейронной сети. Главная цель метода заключается в применении в качестве начальной матрицы не тензора со случайными нормализованными весовыми коэффициентами, а уже обученных на различные объекты значений весов. В нашем исследовании – это база весовых коэффициентов ImageNet<sup>1</sup>, что позволило повысить точность сети до 92 %.

Заключительной частью разработки модулей является их тестирование. Итогом автоматического тестирования точности выходных значений искусственных нейронных сетей является показатель 92 %. При ручной апробации данной методики путем исследования 200 изображений рукописных букв была получена точность 90 %, что является доказательством эффективности применения алгоритмов машинного обучения для решения задач судебного почерковедения.

Итак, при проведении вышеперечисленных операций удалось достигнуть высокой точности обучения сети. Для ее дальнейшего повышения необходимо использовать более современную архитектуру ResNet, однако это обуславливает

<sup>1</sup> Srivastava R. K., Greff K., Schmidhuber J. Training Very Deep Networks // Proc. 28<sup>th</sup> NIPS. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2015. P. 2377–2385.



повышение вычислительных нагрузок на ЭВМ. Установлено, что данная архитектура искусственных сверточных нейронных сетей позволяет накладывать маски на исходное графическое изображение и тем самым проводить выделение частных признаков почерка в привычном для эксперта алгоритме. Целесообразно помимо архитектуры ResNet сделать надстройку в виде архитектуры Mask R-CNN (или же DCNN, Region-CNN, FCNN, Single Shot, MultiBox, Detector) и внести коррективы в процесс обучения сети. Привлечение указанных архитектур является следующим этапом модернизации данного программного комплекса.

В нашем исследовании также был реализован прототип с универсальной и модульной кодовой структурой, которая, в свою очередь, может быть доработана и адаптирована к новому функционалу.

Основные преимущества программного комплекса «Фрося» перед программными решениями подобного рода заключаются в следующем:

- 1) возможность использования программного комплекса на компьютере вне зависимости от операционной системы, которой он управляется;
- 2) низкие технические требования к оборудованию;
- 3) легкость ввода данных в память;
- 4) совокупность вычислительного времени, затрачиваемого на дифференциацию буквенных обозначений и поиск частных признаков почерка, составляет 0,01 секунды независимо от технических характеристик компьютера;
- 5) возможность расширения функционала без внесения изменений в зависимые модули;
- 6) легкая поддержка кодовой базы;
- 7) интуитивно понятный интерфейс;
- 8) возможность параллельного выполнения экспертизы с разных устройств;
- 9) возможность контроля эксперта в режиме реального времени;
- 10) высокая точность расчетов (92 %);
- 11) фоновый режим подсчета статистических данных и возможность их программного коррелирования;
- 12) возможность редакции и сохранения заключения эксперта.

Таким образом, благодаря опыту использования предшествующих программ, выполняющих задачи судебного почерковедения, современным технологиям и грамотному проектированию, нам удалось создать прототип, решающий задачи моделирования раздельного и сравнительного исследования частных признаков почерка, удовлетворяющий условиям доступности. Программный комплекс «Фрося» является инструментом, осуществляющим вспомогательные функции, и не призван полностью автоматизировать процесс идентификации исполнителя рукописи. Структура этого прототипа при дальнейшей модернизации может быть применена в деятельности судебно-экспертных учреждений России.



**Список библиографических ссылок**

1. Архипов Г. Ф., Кучеров И. Д. Проведение исследований с помощью системы ДИА // Экспертная техника. Москва: ВНИИСЭ, 1977. Вып. 54.
2. Берзницкас А. И., Кучеров И. Д. Проведение исследований с помощью системы «Прост» // Экспертная техника. Москва: ВНИИСЭ, 1977. Вып. 54.
3. Кошманов П. М. Компьютерные технологии в судебно-почерковедческой экспертизе: учеб. пособие. Волгоград: ВА МВД России, 2008.

© Бобовкин М. В., Диденко О. А., Нестеров А. Е., 2021

**References**

1. Arkhipov G. F., Kucherov I. D. Carrying out research using the DIA system. *In: Expert technique*. Moscow: VNIISE, 1977. Issue 54 (in Russian).
2. Berznitskas A. I., Kucherov I. D. Carrying out research using the "Prost" system. *In: Expert technique*. Moscow: VNIISE, 1977. Issue 54 (in Russian).
3. Koshmanov P. M. *Computer technologies in forensic handwriting examination*. Textbook manual. Volgograd: VA of Ministry of Internal Affairs of Russia; 2008: 72 (in Russian).

© Bobovkin M. V., Didenko O. A., Nesterov A. E., 2021

\* \* \*