

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра уголовного процесса, криминалистики
и судебных экспертиз

**Применение методов фрактальной геометрии для анализа папиллярных
узоров в дактилоскопической экспертизе**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

студентки 5 курса 541 группы
направления подготовки 40.05.03 «Судебная экспертиза»
юридического факультета

Агапитовой Натальи Сергеевны

Научный руководитель
доцент, к.т.н., доцент

_____ А.В. Калякин

Зав. кафедрой уголовного процесса,
криминалистики и судебных экспертиз
к.ю.н., доцент

_____ С.А. Полунин

Саратов 2026

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена необходимостью совершенствования методов дактилоскопической экспертизы путём внедрения количественных критериев оценки папиллярных узоров. Традиционная методика, базирующаяся на визуальном сравнении частных признаков, содержит элемент субъективизма эксперта и требует достаточной площади и чёткости отображения узора. Как показывают современные научные изыскания, применение методов фрактальной геометрии позволяет получать численные характеристики (фрактальную размерность) следов кожного покрова человека, что повышает надёжность идентификации, особенно при работе с малыми фрагментами, деформацией или низкой контрастностью следов. Внедрение таких методов соответствует общемировым тенденциям цифровизации криминалистики и повышения доказательственного значения экспертных заключений. На основании вышеизложенного заключаем, что данное исследование имеет особое практическое значение для судебно-экспертной деятельности.

Целью настоящей работы является разработка и обоснование методики применения фрактального анализа папиллярных узоров для повышения объективности и эффективности дактилоскопической идентификации в рамках судебной экспертизы на основе экспериментальной проверки устойчивости и масштабной инвариантности фрактальной размерности.

Для достижения указанной цели была предпринята попытка решить следующие **задачи**:

- изучить современное состояние криминалистического исследования следов кожного покрова человека и теоретические основы фрактальной геометрии;
- обосновать возможность рассмотрения папиллярного узора как фрактального объекта;
- разработать методику экспериментального исследования с выбором программного обеспечения (Gwyddion), методов анализа и подготовкой экспериментального материала;

- провести экспериментальное исследование по вычислению фрактальной размерности папиллярных узоров на репрезентативной выборке (40 пальцев, по 5 оттисков с каждого);

- исследовать свойство масштабной инвариантности папиллярных узоров путём сравнения значений фрактальной размерности исходных и увеличенных изображений;

- сформулировать рекомендации по практическому применению предложенных методов в деятельности судебного эксперта.

Объектом исследования являются папиллярные узоры пальцев рук человека, отображённые в дактилоскопических изображениях.

Предмет изучения представлен фрактальной размерностью как количественной характеристикой папиллярных узоров, её устойчивостью, воспроизводимостью и масштабной инвариантностью, а также методами её вычисления для целей дактилоскопической идентификации.

Степень научной разработанности. Тема выпускной квалификационной работы носит комплексный междисциплинарный характер. Достижение поставленной цели потребовало обращения к трудам учёных в области криминалистики и трасологии (Р.С. Белкин, Т.Ф. Моисеева, В.В. Пономарёв), фрактальной геометрии (Б.Б. Мандельброт, К. Фальконер, Е. Федер, М. Шредер), а также к работам, посвящённым применению фрактального анализа в биометрии и дерматоглифике (Н.С. Поликарпова, Д.И. Трифонов, А.В. Калякин, В.Ю. Ляпин). Зарубежные исследования представлены трудами Б.Л. Битти, М. Де Марсико, Дж. К. Дила, Ф. Нардуччи и др.

Методологическую основу работы составляют общенаучные методы (анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, моделирование) и специальные методы: методы фрактальной геометрии (вычисление размерности Минковского методами триангуляции и подсчёта кубов), методы цифровой обработки изображений в среде Gwyddion, а также методы математической статистики для обработки экспериментальных данных.

Теоретическую основу работы составляют фундаментальные положения криминалистики и судебной экспертизы в области трасологии и дактилоскопии, а также классические и современные труды в области фрактальной геометрии и её приложений в биометрических системах.

Правовая основа работы сформирована на основе Конституции Российской Федерации, Уголовно-процессуального кодекса РФ, Федерального закона от 31.05.2001 № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации», Федерального закона от 25.07.1998 № 128-ФЗ «О государственной дактилоскопической регистрации в Российской Федерации», а также ведомственных нормативных актов.

Научная новизна дипломной работы заключается в экспериментальном обосновании свойства масштабной инвариантности фрактальной размерности папиллярных узоров на выборке из 40 образцов; в разработке и апробации методики фрактального анализа с использованием свободно распространяемого программного обеспечения Gwyddion; в получении количественных поправочных коэффициентов для использования фрагментарных изображений при идентификации с дифференциацией по типам узоров (дуговые, петлевые, завитковые).

Эмпирическую основу работы составили экспериментальные данные, полученные в ходе лабораторного исследования: база изображений, включающая образцовые оттиски пальцев рук 40 добровольцев (по 5 оттисков с каждого пальца), всего 200 дактилоскопических изображений, а также их центральные фрагменты (50 % площади). Обработка и вычисление фрактальной размерности проводились в программной среде Gwyddion.

Положения, выносимые на защиту:

1. Папиллярные узоры пальцев рук обладают свойствами статистических фракталов, что проявляется в их иерархической организации, появлении новых структурных деталей при увеличении масштаба (поры, микровыступы) и сохранении фрактальной размерности в определённом диапазоне масштабов.

2. Фрактальная размерность, вычисленная методами триангуляции и подсчёта кубов в программном обеспечении Gwyddion, является воспроизводимой и устойчивой количественной характеристикой папиллярного узора: внутрииндивидуальная дисперсия не превышает 0,0006, а межиндивидуальные различия достигают 0,1, что позволяет использовать её в качестве дополнительного идентификационного признака.

3. Экспериментально подтверждено свойство масштабной инвариантности папиллярных узоров: коэффициент корреляции между фрактальной размерностью полных и обрезанных на 50% изображений составляет 0,89–0,91. При этом снижение фрактальной размерности после обрезки дифференцировано по типам узоров: минимальное для дуговых ($0,028 \pm 0,006$), максимальное для завитковых ($0,057 \pm 0,011$).

4. Разработанная методика фрактального анализа, включающая выбор метода подсчёта кубов как более устойчивого к шумам, использование поправочных коэффициентов для фрагментарных следов (для дуговых +0,03, петлевых +0,04, завитковых +0,06), а также критерии совпадения (разница фрактальных размерностей не более 0,05), может служить эффективным дополнительным инструментом в дактилоскопической экспертизе, особенно при работе с неполными, деформированными или малококонтрастными следами.

Структура выпускной квалификационной работы обусловлена её содержанием и состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и пяти приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы, анализируется её научная разработанность, определяются объект и предмет исследования, цели работы и комплекс решаемых задач, отмечаются теоретико-методологическая и эмпирическая основы, формулируются научная новизна и положения, выносимые на защиту.

Глава первая: «Современное состояние вопроса криминалистического исследования следов кожного покрова человека с

использованием методов фрактальной геометрии» посвящена понятию папиллярных узоров, их типам, видам и частным признакам (§1.1); понятиям фрактальной геометрии и фрактальной размерности (§1.2); определению папиллярного узора как фрактального объекта (§1.3).

В первой главе исследованы анатомо-физиологические основы формирования папиллярных узоров, их свойства (индивидуальность, устойчивость, восстанавливаемость), традиционная классификация на дуговые, петлевые и завитковые типы. Рассмотрены работы Я. Пуркинье, Ф. Гальтона, Э. Генри, заложившие основы дактилоскопии. Проведён анализ современных методов пороскопии и эджеоскопии, а также комплексных дактилоскопических и молекулярно-генетических исследований. Показано, что традиционный анализ имеет ограничения при работе с фрагментарными и деформированными следами, что создаёт предпосылки для внедрения математических методов.

Во втором параграфе изложена история возникновения фрактальной геометрии (работы Г. Жюлиа, П. Фату, Л.Ф. Ричардсона, Ф. Хаусдорфа, А.С. Безиковича, Б.Б. Мандельброта). Введено понятие фрактальной размерности, в частности размерности Минковского, вычисляемой методом подсчёта ячеек. Описаны геометрические, алгебраические и стохастические фракталы, а также мультифракталы. Показано, что фрактальная размерность является количественной мерой сложности структуры и может быть применена к биологическим объектам.

В третьем параграфе обосновано, что папиллярные узоры относятся к классу статистических самоподобных фракталов. Приведены данные патентной документации (патент RU 2782709 С1), подтверждающие, что при увеличении изображения папиллярные линии обнаруживают всё более мелкие неоднородные элементы (поры, микровыступы), что соответствует фрактальной природе. Рассмотрены работы зарубежных авторов (Битти, Де Марсико, Дил и др.) по использованию фрактальных методов для распознавания отпечатков пальцев. Сделан вывод о принципиальной возможности применения фрактального анализа для количественной оценки папиллярных узоров.

Глава вторая: «Методика и организация экспериментального исследования» посвящена выбору программного обеспечения и методов анализа (§2.1), подготовке экспериментального материала и плану эксперимента (§2.2), проведению эксперимента (§2.3).

Во втором параграфе обоснован выбор программного комплекса Gwyddion версии 2.65 (свободно распространяемое ПО, содержащее верифицированные алгоритмы фрактального анализа). Описаны два метода: триангуляция (чувствительна к мелкомасштабным неровностям) и подсчёт кубов (более устойчив к шумам). Приведены параметры анализа (минимальный масштаб 2 пикселя, максимальный – 128, 15 точек по логарифмической шкале, порог бинаризации 100 из 255). Показана валидация метода на эталонных объектах (береговая линия Ирландии и треугольник Серпинского), погрешность не превысила 0,3 %.

Во втором параграфе описана подготовка экспериментального материала: от 40 добровольцев (20 мужчин, 20 женщин) получено по 5 оттисков одного пальца (всего 200 изображений). Проведена фотофиксация при увеличении 5,6×. Из каждого полного изображения получен центральный фрагмент площадью 50 %. Для каждой серии (полные и обрезанные) проведено по 5 повторных измерений каждым методом, общее число измерений – 800. Приведены примеры изображений (иллюстрации в тексте диплома). Результаты измерений сведены в таблицы Приложений Б–Д.

В третьем параграфе представлен ход эксперимента. Для каждого изображения выполнена пороговая бинаризация с инверсией по высоте, затем расчёт фрактальной размерности методами триангуляции и подсчёта кубов. Получены гистограммы распределений. Установлено, что для полных изображений метод триангуляции даёт значения 2,485–2,598, метод подсчёта кубов – 2,394–2,487. Для обрезанных изображений значения ожидаемо снизились: 2,431–2,514 (триангуляция) и 2,394–2,479 (подсчёт кубов).

Глава третья: «Анализ и обсуждение результатов эксперимента» содержит интерпретацию результатов для решения

поставленных задач (§3.1) и рекомендации по практическому применению предложенных методов (§3.2).

В первом параграфе показано, что дисперсия пяти повторных измерений для одного образца не превышает 0,0004 (триангуляция) и 0,0006 (подсчёт кубов), что свидетельствует о высокой воспроизводимости метода. Внутрииндивидуальная вариабельность существенно ниже межиндивидуальной, что позволяет использовать фрактальную размерность в качестве биометрического признака. Установлено, что снижение фрактальной размерности при обрезке изображения зависит от типа узора: максимально для завитковых ($0,057 \pm 0,011$), минимально для дуговых ($0,028 \pm 0,006$). Коэффициент корреляции между полными и обрезанными изображениями составил 0,89–0,91. Выявлены ограничения метода: чувствительность к качеству исходного изображения, необходимость стандартизации условий съёмки.

Во втором параграфе сформулированы практические рекомендации. Для рутинной работы предпочтителен метод подсчёта кубов как более устойчивый. При использовании фрагментарных отпечатков (обрезка до 50 %) необходимо вводить поправочные коэффициенты: для дуговых узоров +0,03, для петлевых +0,04, для завитковых +0,06 (для метода подсчёта кубов). Критерием совпадения может служить разница фрактальных размерностей не более 0,05. Предложенная методика рекомендуется в качестве дополнительного инструмента при работе с неполными, деформированными или малоконтрастными следами, а также в спорных случаях, когда традиционный анализ не даёт однозначного вывода.

В **Заключении** подводятся итоги, формулируются выводы и предложения. Изложено видение автором перспектив внедрения фрактального анализа в практику дактилоскопических подразделений. Освещены основные ограничения метода и направления дальнейших исследований (автоматическое распознавание типа узора, изучение зависимости фрактальной размерности от демографических факторов).

По теме дипломной работы автором опубликованы статьи:

1. Агапитова Н.С. Фрактальный анализ папиллярных узоров как дополнительный метод дактилоскопической идентификации // Актуальные проблемы судебной экспертизы : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2025. – С. 45–48.

2. Агапитова Н.С., Калякин А.В. Применение программного обеспечения Gwyddion для вычисления фрактальной размерности отпечатков пальцев // Криминалистика и судебно-экспертная деятельность в условиях цифровизации : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2025. – С. 112–115.