

В диссертационный совет 6D.KOA-049
при Таджикском техническом
университете имени академика
М.С. Осими. 734042, г. Душанбе,
проспект академиков Раджабовых, 10А

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационное исследование Бобоева Шарафа Асроровича на тему «Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов (LS-SVM)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.7 – Теоретические основы информатики

Соответствие паспорту специальности. Тема и содержание диссертационного исследования полностью соответствуют паспорту научной специальности 1.2.7 – «Теоретические основы информатики».

Работа охватывает положения, связанные с разработкой и исследованием моделей и алгоритмов анализа данных, методов машинного обучения и регрессионного анализа, а также созданием программных средств интеллектуального анализа данных.

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам (с учетом добавление двух новых) паспорта специальности:

- п. 5 – разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных и извлечения закономерностей;
- п. 14 – разработка теоретических основ создания программных систем для новых информационных технологий;
- п. 17 – разработка методов обеспечения помехоустойчивости и обработки информации;
- п. 18 – исследование и разработка алгоритмов анализа данных различной природы с использованием регрессионного анализа и методов машинного обучения.

Таким образом, диссертационная работа полностью укладывается в рамки заявленной научной специальности.

Актуальность темы исследования. Актуальность диссертационного исследования обусловлена возрастающей ролью методов машинного обучения и анализа данных в современных прикладных и теоретических задачах, возникающих в промышленности, экономике, медицине и других областях. Одной из ключевых задач в данном контексте является построение

эффективных регрессионных моделей, обеспечивающих точное прогнозирование непрерывных целевых переменных по совокупности признаков.

Особое значение при этом приобретают непараметрические методы регрессии, применяемые в ситуациях, когда априорная информация о виде зависимости ограничена и использование параметрических моделей оказывается недостаточно эффективным. К таким методам относятся ядерные методы, сглаживающие сплайны, методы ближайших соседей и нейронные сети.

Метод опорных векторов с квадратичной функцией потерь (LS-SVM) является одним из широко используемых ядерных методов, позволяющих получать решения в явной форме и строить достаточно сложные регрессионные зависимости за счёт гибкого выбора параметров модели. Вместе с тем, применение LS-SVM сопровождается рядом ограничений, к числу которых относятся неразреженность решений и недостаточная робастность при наличии выбросов. Комплексное исследование и устранение указанных недостатков представляет собой актуальную научную задачу.

Степень научной новизны результатов диссертации и положения, выносимые на защиту. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- предложены новые робастные варианты критерия скользящего контроля (RLOO и RLOO-P);
- разработаны новые способы построения робастных регрессионных моделей на основе LS-SVM с использованием метода псевдонаблюдений и взвешивания на базе функций потерь Хьюбера;
- предложен адаптивный вариант функции потерь Хьюбера для формирования псевдонаблюдений и весовых коэффициентов;
- разработаны новые методы разбиения выборки с использованием планирования эксперимента для получения разреженных регрессионных моделей;
- предложены алгоритмы уточнения разбиения выборки на основе внешних критериев оценки качества моделей.

Степень изученности научной темы. В диссертации проанализированы 126 источников отечественных и зарубежных авторов, посвящённых теории и практике метода опорных векторов и его модификаций. Рассмотрены фундаментальные работы по SVM и SVR, а также современные исследования, направленные на повышение робастности и разреженности решений LS-SVM. Анализ литературы свидетельствует о

хорошем знании соискателем состояния исследуемой проблемы и корректном позиционировании собственных научных результатов.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 160 страницах и включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения (А, Б и В). Список литературы содержит 126 наименований. Работа иллюстрирована 53 рисунками и 32 таблицами.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, объект и предмет, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе рассмотрены теоретические основы регрессионного анализа и метод LS-SVM, описаны используемые ядерные функции, критерии оценки качества моделей и алгоритмы подбора метапараметров.

Во второй главе разработаны алгоритмы построения робастных регрессионных моделей с использованием методов M-оценивания, псевдонаблюдений и взвешивания, а также предложены робастные критерии скользящего контроля.

В третьей главе исследованы способы разбиения выборки на обучающую и тестовую части с применением D-оптимального плана и внешних критериев качества, выполнен сравнительный анализ эффективности разреженных моделей.

В четвертой главе представлены результаты применения метода LS-SVM к практическим задачам на реальных данных.

В пятой главе описан программный продукт, реализующий предложенные алгоритмы, а также приведены модели генерации шумов, используемые в экспериментах.

Научная и практическая значимость диссертации. Научная значимость работы состоит в развитии теории робастного и разреженного регрессионного моделирования на основе LS-SVM и расширении методологического аппарата оценки качества моделей.

Практическая значимость обусловлена возможностью применения разработанных алгоритмов при анализе временных рядов, сигналов, биомедицинских и экономических данных, а также их использованием в образовательной и научной деятельности и заключается в:

- разработке и программной реализации алгоритмов получения робастных и разреженных решений;
- возможности применения предложенных методов в задачах анализа временных рядов, обработки сигналов, биомедицинских и экономических данных;

- использовании результатов в учебном процессе и научных исследованиях.

Разработанные алгоритмы реализованы в зарегистрированном программном продукте.

Публикация результатов исследования по теме диссертации. По результатам выполненных в работе исследований опубликованы 21 печатных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ и ВАК при Президенте РТ, 3 статьи в изданиях, индексируемых в наукометрических системах «Scopus» и «Web of Science», 10 статей в прочих изданиях и 1 свидетельство №2018619675 о государственной регистрации программы для ЭВМ в Российской Федерации.

Соответствие диссертации требованиям комиссии. Оформление диссертации соответствует действующим требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, что подтверждается корректностью структуры, списка литературы, оформления таблиц, рисунков и приложений.

Автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267.

Несмотря на это, в диссертации имеются некоторые недостатки, спорные, положения, статистические ошибки, грамматические орфографические ошибки, среди которых можно выделить следующие:

1. Теоретический обзор методов регрессионного моделирования на основе LS–SVM, представленный в первой главе, охватывает широкий круг научных источников и подходов. Вместе с тем в ряде случаев акцент сделан преимущественно на описании методов без их строгого сопоставления. Возникает вопрос: возможно ли дополнить обзор формализованным сравнительным анализом методов по таким показателям, как вычислительная сложность, чувствительность к выбросам и устойчивость к переобучению, и каковы практические выводы из такого сравнения?

2. В диссертации предложены оригинальные робастные алгоритмы и критерии оценки качества моделей, эффективность которых подтверждена вычислительными экспериментами. Однако степень их применимости при обработке выборок большого объема и высокой размерности раскрыта не полностью. Представляется целесообразным уточнить: каковы предельные вычислительные возможности разработанных алгоритмов и существуют ли механизмы их адаптации к задачам анализа больших данных?

3. При рассмотрении способов разбиения выборки на обучающую и контрольную части основное внимание уделено методам планирования

эксперимента и внешним критериям качества моделей. В этой связи возникает вопрос: рассматривались ли альтернативные процедуры валидации, широко используемые в современной практике машинного обучения, и как соотносятся полученные с их помощью результаты с результатами, представленными в диссертации?

4. Практическая апробация предложенных методов выполнена на реальных и хорошо известных наборах данных, что подтверждает корректность и работоспособность разработанных алгоритмов. Вместе с тем остаётся открытым вопрос: в какой мере предлагаемые подходы могут быть обобщены на более сложные постановки задач, в частности на модели с многомерным откликом или на задачи с динамической структурой данных?

5. В изложении алгоритмов LS-SVM широко используется компактная матричная форма представления в виде систем линейных алгебраических уравнений. Такое представление удобно с точки зрения формализма, однако может затруднять восприятие. Возникает вопрос: возможно ли представить данные системы в более развёрнутом виде или дополнить их поясняющими комментариями и примерами, облегчающими интерпретацию алгоритма?

6. В тексте диссертации применяется разнородная система обозначений и терминов, отражающая разнообразие рассмотренных моделей и критериев. При этом возникает вопрос: возможно ли дальнейшее упрощение и унификация терминологии без потери содержательной точности, и какие обозначения автор считает базовыми в рамках предложенного подхода?

7. В работе подчёркивается непараметрический характер построения регрессионных моделей, в то время как для повышения устойчивости активно используются робастные методы, традиционно относящиеся к параметрической статистике. Это приводит к методологическому вопросу: каким образом в диссертации осуществляется согласование непараметрического моделирования с параметрическими робастными процедурами и в чём заключается концептуальное преимущество такого синтеза?

8. В классических схемах машинного обучения важным завершающим этапом является оценка качества окончательной модели на независимой тестовой выборке. В этой связи представляется целесообразным уточнить: предусматривает ли предложенный в диссертации подход отдельный этап финального тестирования модели и существуют ли особенности его реализации для робастных регрессионных моделей на основе LS-SVM?

Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качество и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на ее научный уровень.

В целом, диссертация Бобоева Шарафа Асрорвича на тему «Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов (LS-SVM)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.7 – Теоретические основы информатики, выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

профессор кафедры Программное
обеспечение информационных
технологий Ташкентского университета
информационных технологий имени
Мухаммада Аль-Хорезми,
доктор технических наук, доцент



М.Х. Худайбердиев

«23» февраль 2026 г.

Адрес: 100084, Республика Узбекистан,
город Ташкент, проспект Амира Темура, 108
тел.: (+998) 93-506-24-56
e-mail: mirzaakbar@tuit.uz

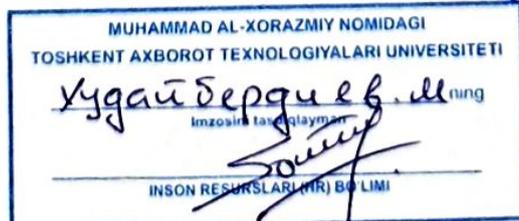
Подпись Худайбердиева М.Х. подтверждаю

Начальник отдела кадров



Бегматова З.З.

« » _____ 2026 г.



В диссертационный совет 6D.KOA-049
при Таджикском техническом
университете имени академика
М.С. Осими. 734042, г. Душанбе,
проспект академиков Раджабовых, 10А

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационное исследование Бобоева Шарафа Асроровича на тему «Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов (LS-SVM)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.7 – Теоретические основы информатики

Соответствие паспорту специальности. Тема и содержание диссертационного исследования в полной мере соответствуют паспорту научной специальности 1.2.7 «Теоретические основы информатики». В работе рассматривается широкий круг вопросов, связанных с разработкой и исследованием моделей и алгоритмов анализа данных, применением методов машинного обучения и регрессионного анализа, а также с созданием программных средств интеллектуального анализа данных.

Материалы диссертации соотносятся со следующими пунктами паспорта специальности (с учётом включения двух дополнительных пунктов):

- п. 5 — разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных и выявления закономерностей;
- п. 14 — разработка теоретических основ создания программных систем для новых информационных технологий;
- п. 17 — разработка методов обеспечения помехоустойчивости и обработки информации;
- п. 18 — исследование и разработка алгоритмов анализа данных различной природы с применением регрессионного анализа и методов машинного обучения.

Следовательно, представленная диссертационная работа полностью соответствует заявленной научной специальности и находится в её предметных и методологических рамках.

Актуальность темы исследования. Актуальность диссертационного исследования определяется интенсивным развитием и повсеместным внедрением технологий анализа данных и машинного обучения в решение как прикладных, так и фундаментальных задач в таких сферах, как промышленное

производство, экономика, здравоохранение и другие области научно-практической деятельности. В этих условиях особое внимание уделяется задачам регрессионного анализа, направленным на построение моделей, способных с высокой точностью аппроксимировать и прогнозировать значения непрерывных откликов на основе многомерных описаний объектов.

Важную роль в решении подобных задач играют непараметрические подходы к регрессии, которые не требуют жёстких предположений о виде искомой зависимости и демонстрируют высокую гибкость при работе со сложными и слабо формализованными данными. К данному классу методов относятся, в частности, ядерные алгоритмы, методы локальной аппроксимации, сплайн-подходы, а также модели, основанные на нейронных сетях.

Среди ядерных методов существенное место занимает метод опорных векторов с квадратичной функцией потерь (LS-SVM), обеспечивающий возможность получения аналитических решений и эффективного моделирования нелинейных регрессионных зависимостей за счёт использования ядерных функций и настройки параметров регуляризации. Однако практическое применение данного метода связано с рядом проблем, включая формирование плотных решений и снижение устойчивости модели при наличии аномальных наблюдений. В этой связи углублённое изучение указанных ограничений и разработка подходов, направленных на повышение разреженности и робастности LS-SVM, представляют собой актуальное и востребованное направление научных исследований.

Степень научной новизны результатов диссертации и положения, выносимые на защиту. Научная новизна диссертационного исследования состоит в получении следующих новых результатов:

- предложены новые робастные варианты критерия скользящего контроля (RLOO и RLOO-P);
- разработаны новые способы построения робастных регрессионных моделей на основе LS-SVM с использованием метода псевдонаблюдений и взвешивания на базе функций потерь Хьюбера;
- предложен адаптивный вариант функции потерь Хьюбера для формирования псевдонаблюдений и весовых коэффициентов;
- разработаны новые методы разбиения выборки с использованием планирования эксперимента для получения разреженных регрессионных моделей;
- предложены алгоритмы уточнения разбиения выборки на основе внешних критериев оценки качества моделей.

Степень изученности научной темы. В рамках диссертационного исследования выполнен обстоятельный обзор 126 публикаций отечественных, российских и зарубежных авторов, посвящённых развитию метода опорных векторов и его различных модификаций. Проанализированы как классические труды, заложившие теоретические основы SVM и SVR, так и современные работы, ориентированные на решение задач повышения устойчивости к выбросам и обеспечения разреженности решений в моделях LS–SVM. Проведённый анализ показывает глубокую осведомлённость автора в текущем состоянии научных исследований по рассматриваемой тематике и позволяет обоснованно определить место и вклад полученных в диссертации результатов в контексте существующих подходов.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 160 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений А, Б и В. Список литературы содержит 126 наименований. Работа иллюстрирована 53 рисунками и 32 таблицами.

Во введении диссертационной работы раскрыта актуальность выбранной тематики, сформулированы цель и основные задачи исследования, определены объект и предмет работы, а также охарактеризованы научная новизна и теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена изложению теоретических положений регрессионного анализа и метода LS–SVM. В ней рассмотрены основные типы ядерных функций, используемые для построения моделей, приведены критерии оценки их качества и описаны подходы к выбору и настройке метапараметров.

Во второй главе предложены и обоснованы алгоритмы построения робастных регрессионных моделей, основанные на методах M-оценивания, использовании псевдонаблюдений и схем взвешивания, а также разработаны робастные варианты критериев скользящего контроля.

Третья глава посвящена исследованию методов формирования обучающей и тестовой выборок с применением D-оптимального планирования эксперимента и внешних критериев качества. В рамках главы проведён сравнительный анализ эффективности получаемых разреженных регрессионных моделей.

В четвёртой главе приведены результаты применения метода LS–SVM и разработанных алгоритмов к решению практических задач на реальных наборах данных, что подтверждает их работоспособность и эффективность.

В пятой главе описан программный комплекс, реализующий предложенные в диссертации методы, а также представлены модели

генерации шумов, использованные при проведении вычислительных экспериментов.

Научная и практическая значимость диссертации. Научная значимость диссертационной работы заключается в развитии теоретических основ робастного и разреженного регрессионного моделирования на базе LS–SVM, а также в расширении методического аппарата оценки качества регрессионных моделей в условиях зашумлённых данных и наличия выбросов.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения разработанных подходов и алгоритмов при решении прикладных задач анализа и прогнозирования данных различной природы, включая временные ряды, сигналы, биомедицинские и экономические данные. Полученные результаты могут быть использованы в научно-исследовательской и образовательной деятельности, а также при разработке и внедрении программных средств интеллектуального анализа данных. Разработанные алгоритмы реализованы в виде зарегистрированного программного продукта, что подтверждает их прикладную направленность и практическую востребованность.

Публикация результатов исследования по теме диссертации. По результатам выполнения диссертационного исследования опубликована 21 научная работа, в том числе:

- 7 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ и ВАК при Президенте РТ;
- 3 статьи в изданиях, индексируемых в наукометрических системах «Scopus» и «Web of Science»;
- 10 статей в прочих изданиях;
- 1 свидетельство №2018619675 о государственной регистрации программы для ЭВМ в Российской Федерации.

Соответствие диссертации требованиям комиссии. Оформление диссертационной работы в целом соответствует действующим требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, что подтверждается корректным построением структуры диссертации, надлежащим оформлением списка использованных источников, таблиц, иллюстративного материала и приложений.

Автореферат диссертации также отвечает требованиям Порядка присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267.

Вместе с тем в работе выявлены отдельные недостатки и спорные моменты, а также встречаются статистические неточности и отдельные

грамматические и орфографические ошибки, к числу которых можно отнести следующие:

1. В работе указывается, что применение критериев LOO CV и K-FOLD CV приводит к выбору параметра масштаба гауссового ядра, близкого к значению, полученному при минимизации среднеквадратичной ошибки. Вместе с тем анализ данных таблицы 1.1 показывает заметные различия как в выбранных параметрах, так и в значениях ошибки. В этой связи возникает вопрос о том, в каком именно смысле используется понятие «близости» и какие дополнительные соображения или критерии лежат в основе такого вывода.

2. В работе используется как радиально-базисное (RBF), так и полиномиальное ядра. В этой связи представляется целесообразным уточнить, в каких ситуациях применение RBF-ядра является предпочтительным, а в каких — более оправдано использование полиномиального ядра. Существуют ли теоретические или экспериментальные исследования, позволяющие формализовать критерии выбора типа ядра в зависимости от структуры данных, размерности пространства признаков или характера регрессионной зависимости? Насколько устойчивы полученные выводы при изменении типа ядра и параметров модели?

3. В системах линейных алгебраических уравнений (1.5), а также в СЛАУ (2.1), (2.3), (2.4) и (3.1) используется матрица Ω , элементы которой определены как $\Omega_{kl} = \varphi(x_k)^T \varphi(x_l)$, тогда как в другом месте $\Omega_A = K(x_i, x_j)$. В связи с этим возникает вопрос: каким образом определяются значения φ , зависящие от параметра x , и чем они отличаются от ядерной функции K ? Необходимо уточнить, как согласуются эти две формы записи и в каких случаях одна форма предпочтительнее другой?

4. Было бы целесообразно для каждого типа построенных регрессионных моделей предоставить отдельные алгоритмы подбора метапараметров метода LS-SVM с детальным описанием всех шагов процедуры. В этой связи возникает вопрос: предусмотрено ли в разработанной работе полное описание таких алгоритмов для каждого варианта модели, и можно ли уточнить, какие критерии и процедуры используются при выборе оптимальных метапараметров?

5. В работе встречаются отдельные терминологические и стилистические неточности, а также единичные грамматические ошибки.

Указанные замечания и недостатки носят частный характер и в целом не снижают уровень, качество и положительную научную оценку полученных результатов в рамках диссертационного исследования.

В целом диссертация Бобоева Шарафа Асрорвича на тему «Построение регрессионных зависимостей с использованием квадратичной функции потерь в методе опорных векторов (LS-SVM)», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.7 – «Теоретические основы информатики», является завершённым научно-квалификационным исследованием, выполненным на высоком научном и методическом уровне. Работа соответствует требованиям пунктов 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года № 267, а её автор в полной мере заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:

заведующий отделом нанотехнологий
и наноматериалов-сектора теоретической физики
Физико-технического института
имени С.Умарова НАНТ,
доктор философии (PhD)



М.М. Каюмов

«23» 02 2026 г.

Адрес: 734063, Республика Таджикистан,
город Душанбе, проспект Айни, 299/1
тел.: +992 (37) 225-80-84
e-mail: kmaxmadzair@gmail.com

Подпись Каюмова М.М. подтверждаю:

Начальник отдела кадров



Бахтибекова Г.

«23» 02 2026 г.