

Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 528.46:332

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-137-148>

Методология координатного описания линейно-протяженных объектов недвижимости

А. М. Портнов¹✉

¹Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва, Российская Федерация

e-mail: info@miigaik.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования, направленного на разработку методологии координатного описания линейно-протяженных объектов кадастра недвижимости, землеустройства и мониторинга земель. Актуальность исследования обусловлена противоречием между функциональной целостностью линейно-протяженных инфраструктурных комплексов недвижимости и фрагментарностью их координатного описания в зональных местных системах координат. Решены задачи систематизации подходов к оптимизации параметров систем координатного описания, разработки аналитических моделей на основе секущих плоскостей на сфере и формул прямого преобразования геодезических координат в проекционные, анализа и оценки пространственного распределения характерных точек границ/контуров объектов ЕГРН с использованием критерия хи-квадрат (χ^2). Показано, что научная новизна определяется не отдельным выбором картографической проекции, а системой методических и технологических решений, связывающих аналитическое моделирование, предварительную обработку векторных данных ЕГРН и верификацию результатов в единую методологию.

Ключевые слова: линейно-протяженные объекты, методология координатного описания, кадастр недвижимости, землеустройство, частный масштаб, секущие плоскости на сфере

Для цитирования:

Портнов А. М. Методология координатного описания линейно-протяженных объектов недвижимости. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 4. С. 137–148. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-137-148>

A methodology for the coordinate-based description of linear real estate features

A. M. Portnov¹✉

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: info@miigaik.ru

Abstract. The article reports the findings of research dedicated to formulating a methodology for the geometric delineation of linearly extensive features pertinent to real estate cadastre, land-use planning, and land monitoring. The relevance of the study is dictated by an inherent discrepancy: while infrastructural real-estate entities exhibit holistic functional continuity, their representation in zonal local coordinate systems remains inherently discrete and fragmented. The study resolves tasks pertaining to the systematization of optimization strategies for coordinate description system parameters; the derivation of analytical models utilizing secant planes on a spherical surface and formulae for the forward conversion of geodetic coordinates to planar projections; and the assessment of the spatial distribution patterns of nodal points defining Unified State Register of Real Estate (EGRN) object boundaries via Pearson's chi-squared (χ^2) test. The fundamental contribution of the work is substantiated as being independent of any singular cartographic projection choice. Instead,

its novelty resides in an integrated framework of methodological and algorithmic procedures unifying analytical modeling, pre-processing of EGRN vector datasets, and output validation.

Keywords: linear features, coordinate description methodology, real estate cadastre, land management, local scale, secant planes on a sphere

For citation:

Portnov A. M. (2026). A methodology for the coordinate-based description of linear real estate features. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 4. pp. 137–148. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-4-137-148>

Введение

Развитие производственной и социальной инфраструктуры сопровождается формированием объектов транспорта, энергетики, связи и т. п., протяженность которых измеряется сотнями и тысячами километров. Такие объекты пересекают кадастровые районы и округа (рис. 1), муниципальные и административно-территориальные границы, включая в производственный оборот земельные участки, сооружения, объекты капитального строительства, формирующие зоны с особыми условиями использования территорий (Приказ Росреестра от 20.10.2020 № П/0387 «Об утверждении порядка установления местных систем координат». — URL: <http://www.consultant.ru>. — Текст : электронный; ГОСТ Р 70846.5-2023. Национальная система пространственных данных. Правила координатного описания пространственных объектов. — URL: <http://www.consultant.ru>. — Текст : электронный) и иные пространственные компоненты [1]. В практике земельно-имущественных отношений они могут быть определены как линейно-протяженные объекты (ЛПО-объекты), требующие единого координатного описания.

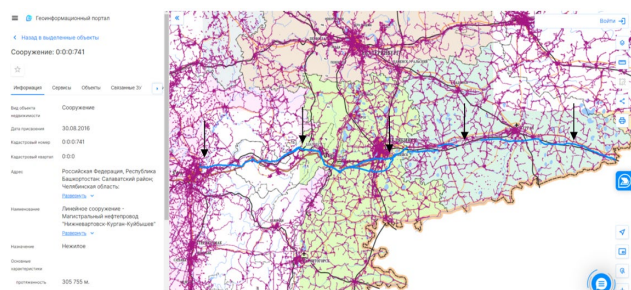


Рис. 1. Линейное сооружение – Магистральный нефтепровод «Нижневартовск – Курган – Куйбышев», кадастровый номер 0:0:0:741, протяженность 305 755 м (синяя линия, источник – <https://nspd.gov.ru>)

Актуальность исследования связана с тем, что действующая система координатного обеспечения кадастра недвижимости имеет зональную реализацию. Местные системы координат, основанные на проекции Гаусса – Крюгера, обеспечивают приемлемые искажения геометрических характеристик объектов учета в пределах ограниченной трехградусной координатной зоны. Если ЛПО-объект проходит через несколько таких зон, его координатное описание фрагментируется, что приводит к разрывам пространственного описания объектов [2–4].

Аналогичные проблемы координатного описания протяженных объектов существуют и в зарубежной практике. Так, для снижения проекционных искажений на железнодорожных магистралях Великобритании была разработана специализированная проекция SnakeGrid [5], обеспечивающая величину масштабного коэффициента в пределах нескольких ppm. В Германии для нужд Deutsche Bahn внедрена процедура перехода к оптимизированным низкоискаженным проекциям (LDP), позволяющая достичь точности менее 5 ppm для более чем 6 300 объектов инфраструктуры [6]. Однако такие системы координатного описания применимы исключительно для самих инженерных объектов и не учитывают особенности природных и антропогенных факторов, влияющих на функционирование ЛО-объектов, кадастрового состояния территории.

На практике, для удобства кадастрового учета в РФ, распространение зональных систем совмещено с границами административных районов, что привело к значительному превышению ширины координатных зон установленным нормам. По отдельным субъектам РФ ширина таких координатных зон достигает 8 градусов, что приводит к проек-

ционными искажениям, превышающим даже допустимые значения для карт масштаба 1 : 10 000. Такая практика координатного описания ЛП-объекта означает снижение достоверности пространственных данных ЕГРН и соответственно принятия управленческих решений на основе искаженной информации.

Соответственно, существует научная проблема, заключающаяся в отсутствии научных подходов, методик и технологических решений координатного описания линейно-протяженных объектов недвижимости, обеспечивающих связь с государственной системой координат, минимизацию проекционных искажений, достижение единства координатного описания на всей протяженности объекта, учет особенностей формирования исходных данных и нормативных критериев для практических задач землеустройства и учета имущественных комплексов.

Цель исследования – разработать методологию координатного описания линейно-протяженных объектов, обеспечивающую снижение проекционных искажений, сохранение геометрических учетных характеристик и повышение достоверности пространственного анализа в информационных системах учета недвижимости.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) систематизировать существующие методы оптимизации параметров систем координатного описания;
- 2) разработать аналитические модели проектирования систем координатного описания;
- 3) выявить особенности использования сведений ЕГРН и обосновать необходимость процедур оценки равномерности распределения и фильтрации характерных точек контуров и границ объектов учета;
- 4) оценить возможности применения аналитических моделей и технологических решений проектирования систем координатного описания объектов учета;
- 5) сформировать методологию координатного описания ЛП-объектов недвижимости как совокупность научных подходов, методик и технологических решений.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили сведения ЕГРН и иные пространственные данные о линейно-протяженных объектах, нормативные акты в сфере кадастра недвижимости, землеустройства и их координатного обеспечения, а также научные работы по тематической картографии [7–9], геодезическим системам координат и ГИС-технологиям [10–13]. В качестве теоретической базы использованы положения о наилучших проекциях, относящиеся к работам Тоблера [14], Эйри [15], В. В. Каврайского [16], П. Л. Чебышева [7], а также работы по численным методам оптимизации [16–21]. Структурная схема исследования включает следующие взаимосвязанные этапы: проблемно-аналитический обзор, разработку аналитических моделей, информационно-статистический анализ, верификацию результатов и определение порядка их применения в кадастровых, землеустроительных работах и мониторинге земель.

Результаты

К проблемно-аналитическому этапу следует отнести изучение особенностей формирования слоев векторных данных ЕГРН, получаемых по результатам кадастровой, землеустроительной и градостроительной деятельности, порядок которых определен законодательством РФ, содержащих контуры линейных объектов, границы ОКС и сооружений, входящих в состав ЛП-объекта, а также необходимость учета:

- площадных характеристик антропогенных и природных объектов, входящих в зону с особым режимом использования территорий как важного элемента функционирования и формирования экономических циклов эксплуатации;
- геометрических свойств кадастровых и землеустроительных карт различной целевой направленности, обеспечивающих топологические связи объектов на требуемом уровне точности.

Их отображение в едином координатном пространстве ЛП-объекта обеспечивается

аналитическими моделями – математическими конструкциями (уравнениями и целевыми функциями), связывающими параметры проектируемой системы координат с геометрическими характеристиками ЛП-объекта учтенными в ЕГРН.

Для решений на сфере предлагается аналитический аппарат описания дуги большого круга (БК), рассматриваемой как геодезическая и малого круга (МК, криволинейная эталонная ось), относительно которой минимизируются геодезические отклонения характерных точек ЛП-объекта.

Так, например поиск пространственного положения значений широт двух точек дуги БК (φ_A, φ_B) по двум заданным долготам λ_A, λ_B (могут использоваться максимальные и минимальные значения долгот объекта), минимизирующих расхождения между фактическими широтами характерных точек и расчетными широтами проектной оси, в виде метода наименьших квадратов, представляется как

где φ_i, λ_i – координаты i -й точки объекта учета;
 φ_A, φ_B – широты опорных точек A и B , задающих дугу БК.

$$f(\varphi, \lambda) = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi_A}{\sin(\lambda_B - \lambda_A)} \right) * \sin(\lambda_i - \lambda_A) + \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi_B}{\sin(\lambda_B - \lambda_A)} \right) * \sin(\lambda_B - \lambda_i) - \operatorname{tg} \varphi_i \right)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

В ряде случаев проектирования систем координатного описания, особенно с использованием конических проекций, существенное значение может иметь секущая плоскость на сфере, образующая МК. Малый круг на сфере определяется как линия пересечения сферы плоскостью, не проходящей через ее центр. Для задач проектирования систем координатного описания все точки МК должны находиться на одинаковом сферическом расстоянии ρ от фиксированной точки с координатами φ_0, λ_0 , называемой полюсом МК. Аналитическое описание данного условия имеет вид:

где φ_0, λ_0 – координаты полюса;

$$di(\varphi_0, \lambda_0) = \arccos(\sin \varphi_0 \sin \varphi_i + \cos \varphi_0 \cos \varphi_i \cos(\lambda_i - \lambda_0)), \quad (2)$$

где φ_i, λ_i – координаты i -й характерной точки;
 $di(\varphi_0, \lambda_0)$ – сферическое расстояние от φ_0, λ_0 до φ_i, λ_i .

В практической постановке задача сводится к определению таких параметров φ_0, λ_0 и ρ , при которых сумма квадратов отклонений точек от МК минимальна:

$$\Phi(\varphi_0, \lambda_0, \rho) = \sum_{i=1}^n (di - \rho)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где di – сферическое расстояние от полюса малого круга до i -й точки;

ρ – постоянное сферическое расстояние от полюса малого круга до линии МК;

$\Phi(\varphi_0, \lambda_0, \rho)$ – целевая функция.

Использование БК и МК как проектных осей позволяет перейти от нормативно заданной зональной системы к расчетной системе координатного описания, параметры которой подбираются под конкретную геометрию ЛП-объекта.

Одним из принципиально иных способов оценки проекционных искажений является показатель частного масштаба. Частный масштаб характеризует изменение линейного

элемента бесконечно малого размера при переходе с поверхности сферы или сфероида на плоскость. В рамках исследования задача проектирования системы координатного описания формализуется как поиск такого набора параметров ρ , который минимизирует отклонение частного масштаба от единицы для множества характерных точек ЛП-объекта:

$$J(p) = \min_{p \in \Omega} \sum_{i=1}^n w_i [k_i(p) - 1]^2, \quad (4)$$

где $J(p)$ – целевая функция;

p – набор оптимизируемых параметров системы координат;

Ω – область допустимых решений;

w_i – вес i -й характерной точки или группы точек;

$k_i(p)$ – частный масштаб в i -й точке при заданных параметрах p ;

n – число характерных точек.

Введение весов позволяет учитывать неодинаковую значимость осевых линий, границ земельных участков, охранных зон, сооружений и иных компонентов ЛП-объекта.

Приведем пример для косой проекции Меркатора [22], поскольку она позволяет ориентировать ось проекции по направлению проложения линейно-протяженного объекта. Для

i -й точки частный масштаб может быть записан в следующем виде:

$$J(K_i) = \sum_{\lambda_{i=1}}^{\lambda_n} \frac{k}{\sqrt{(1-A^2)}} \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$A = \sin \varphi_p \sin \varphi_i - \cos \varphi_p \cos \varphi_i \sin \left(\lambda_i - \left(\lambda_p + \frac{\pi}{2} \right) \right), \quad (6)$$

где $J(K_i)$ – частный масштаб в i -й точке;

k – главный масштаб на оси проекции;

φ_p и λ_p – широта и долгота полюса проектируемой сферы;

φ_i и λ_i – координаты i -й характерной точки.

Следует отметить, что использование теории частного масштаба позволяет оптимизировать не только параметры φ_A, φ_B , но также непосредственно главный масштаб k на оси проекции (рис. 2, пример распределения характерных точек, формирующих границы охранной зоны Обского водохранилища) и для некоторых проекций – координаты центра проекции φ_c, λ_c .

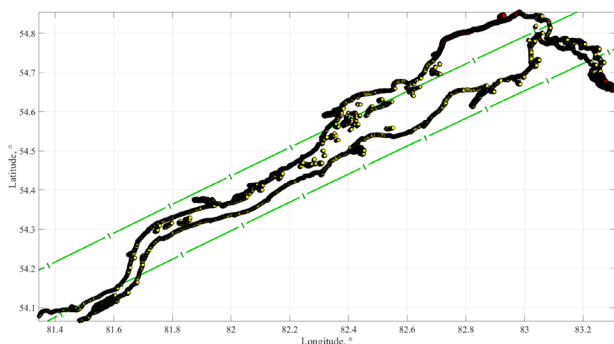


Рис. 2. Линии единичного частного масштаба (нулевого искажения) для проекции с главным масштабом на оси менее единицы

Однако практика оптимизации параметров таких систем с помощью различных алгоритмов численных методов показала, что при увеличении числа оптимизируемых параметров могут возникать расхождения в численных результатах. Поэтому методология должна включать не только численный поиск оптимальных решений, но и проверку устойчивости решения, анализ распределения остаточных искажений по всей протяженности объекта, а также сопоставление результатов с требовани-

ями прикладных кадастровых, землеустроительных задач и мониторинга земель.

Отдельное место в формируемой методологии занимает оценка распределения характерных точек ЛП-объектов, которая относится к задачам информационно-статистического характера. Это связано с тем, что векторные слои ЕГРН формируются не как статистически однородные выборки, а как результат кадастровых, землеустроительных, градостроительных и проектных работ. Поэтому распределение характерных точек в отдельных фрагментах ЛП-объекта может быть неоднородно, что, как показала практика, приводит к квазиоптимальным проектным решениям. Для оценки пространственной концентрации характерных точек объектов ЕГРН предлагается использовать функцию $f(x)$ плотности равномерного распределения вероятности и показатель хи-квадрат χ^2 [23]

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < a, x > b \\ \frac{1}{b-a}, & \text{при } a \leq x \leq b \end{cases}, \quad (7)$$

где x – наблюдаемая переменная;

a, b – минимальное и максимальное значения наблюдений в совокупности интервалов.

Функция $f(x)$ используется для оценки распределения характерных точек по широте и долготе. Критерием равномерности служит следующее выражение:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n [(\xi_i^a - \xi_i^t)^2 / \xi_i^t], \quad (8)$$

где χ^2 – расчетное значение хи-квадрат;

ξ_i^a – наблюдаемая вероятность или наблюдаемое число точек в i -м интервале;

ξ_i^t – ожидаемая вероятность или ожидаемое число точек при равномерном распределении;

n – число интервалов.

Использование критерия χ^2 как цензового оценочного показателя позволяет перейти от визуального анализа распределения характер-

ных точек к воспроизводимой процедуре предварительной фильтрации исходных данных ЕГРН. Достаточным условием принятия гипотезы о равномерном распределении, в данном случае, является приближение вычисленного по формуле (8) значения χ^2 к его критическому значению [24] (в теории должно не превышать). Использование фильтра позволяет сократить влияние концентрации характерных точек и не допускает получения квазиоптимальных решений. На рис. 3 продемонстрировано изменение положения оси на примере проекции Oblique Mercator (косая равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора) после фильтрации характерных точек объекта ЕГРН (численный пример представлен в табл. 1).

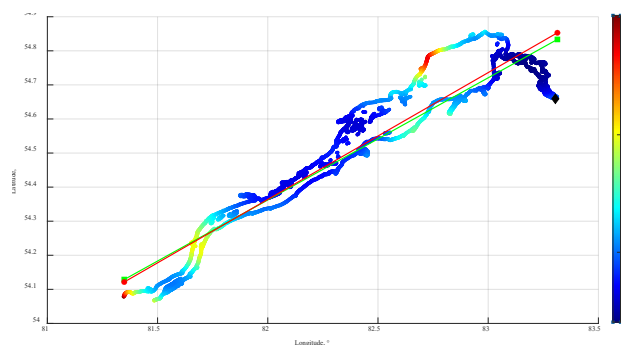


Рис. 3. Изменение положения оси косой проекции Меркатора после фильтрации характерных точек охранной зоны ЕГРН 54.00.2.12. Цветовая шкала отражает вес, обратный локальной плотности точек

Таблица 1. Результаты апробации предложенных аналитических моделей (учетный номер ЕГРН - 54.00.2.12)

	МСК	Эталонное значение на сфероиде
Площадь, кв. км	117.713	117.684
Искажение площади	1 / 4 058	
Предлагаемые технологические решения	Параметры системы координатного описания	
	По данным ЕГРН	Фильтрация данных ЕГРН
Oblique Mercator Малый круг	$\varphi_1=53.9179, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.7683, \lambda_2=83.3095$	$\varphi_1=53.9523, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.7849, \lambda_2=83.3095$
Площадь, кв. км	117.690	117.690
Искажение площади	1 / 19 614	1 / 19 614
Oblique Mercator Большой круг	$\varphi_1=54.1196, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8335, \lambda_2=83.3095$	$\varphi_1=54.0927, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8661, \lambda_2=83.3095$
Площадь, кв. км	117.691	117.690
Искажение площади	1 / 16 812	1 / 19 614
Oblique Mercator, сфера	$\varphi_1=54.1248, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8296, \lambda_2=83.3095$ $k_0=0.999999$	$\varphi_1=54.1227, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8438, \lambda_2=83.3095$ $k_0=0.999999$
Площадь, кв. км	117.689	117.689
Искажение площади	1 / 23 537	1 / 23 537
Oblique Mercator, сфероид	$\varphi_1=54.1250, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8296, \lambda_2=83.3095$ $\varphi_c=54.5505, k=0.99999945$	$\varphi_1=54.1231, \lambda_1=81.3443$ $\varphi_2=54.8437, \lambda_2=83.3095$ $\varphi_c=54.5507, k=0.99999942$
Площадь, кв. км	117.690	117.689
Искажение площади	1 / 19 614	1 / 23 537

Практическая апробация методологии показала, что применение предложенных аналитических моделей и технологических решений позволяет существенно снизить искажения (см. табл. 1) пространственных данных объектов по сравнению с традиционными местными системами координат кадастра недвижимости.

Проведенная систематизация реализованных примеров позволила оценить устойчивость получаемых решений (табл. 2) при различных наборах исходных переменных и граничных условиях, а также классифицировать влияние предложенных аналитических моделей на эффективность проектирования систем координатного описания.

Таблица 2. Особенности применения аналитических моделей проектирования систем координатного описания (на примере объекта рис. 1, 2)

Аналитическая модель	Секущие плоскости на сфере	Частный масштаб, сфера	Частный масштаб, сфероид
Решения для длин свыше 6°	—	—	+
Устойчивость решений	+	+	$\pm$
Наборы решений:			
главный масштаб	—	—	+
центр проекции	—	+	+
стандартные параллели	+	+	+
азимут	+	+	+

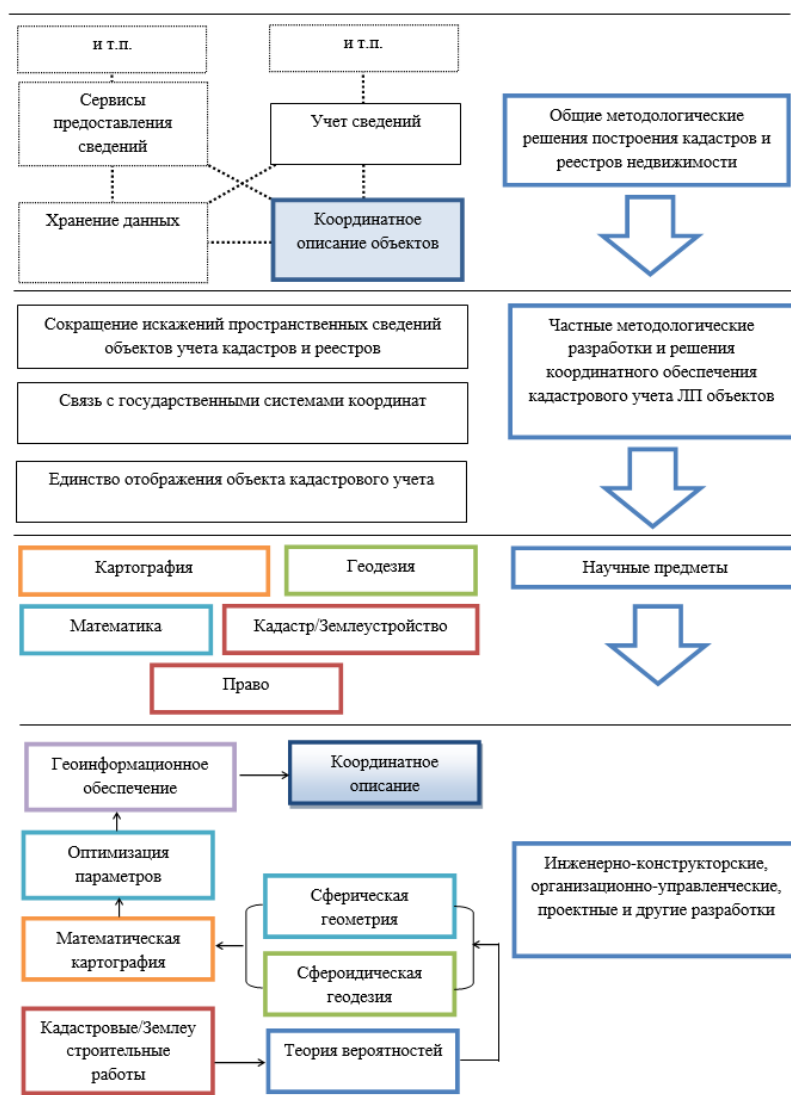
В табл. 2:

«+» – решение целесообразно;

«–» – решение не целесообразно;

« $\pm$ » – применимость зависит от индивидуальных характеристик ЛП-объектов (топологии, распределения характерных точек).

Так, при использовании метода частного масштаба на сфероиде, в ряде используемых численных алгоритмов, зафиксированы результаты, носящие ситуативный характер, вызванный особенностями геометрии и распределения характерных точек.

**Рис. 4.** Системно-структурная схема методологии изучения координатного описания ЛП-объектов

Проведенное исследование базировалось на системно-деятельном подходе. Фундаментальным принципом, заложенным в его основу, являлось понимание методологии как единства знания о деятельности и знания об объекте этой деятельности [25]. Это позволило создать не разрозненный набор приемов и методик, а систему, где свойства линейно-протяженных недвижимых комплексов напрямую определяют структуру и содержание научной и практической деятельности по их изучению. Главными отличительными признаками предложенной методологии по сравнению с существующими разрозненными методами и аналитическими решениями являются комплексность обработки и использования пространственных данных ЕГРН, учет аспектов эксплуатации и природных условий проложения, а также многоуровневая аналитическая организация исследований. Методология позволяет исключить искусственную фрагментацию (зональность) координатного описания местоположения ЛПП-объекта, обеспечить сопоставимость сведений учетных систем недвижимости отраслей экономики РФ.

Обсуждение

Параметры системы координатного описания ЛПП-объекта должны рассматриваться как расчетные величины, определяемые геометрией конкретного объекта, а не только как нормативно заданные. В этом состоит отличие предложенной методологии от традиционной практики, где ЛПП-объект описывается в заранее установленной зональной системе координат. В предлагаемой методологии система координат проектируется под объект, что обеспечивает единство его координатного описания на всей протяженности.

Установлено, что если аналитическая модель получает на входе избыточную концентрацию характерных точек в отдельных местах проложения ЛПП-объекта, условия целевой функции начинают «подстраивать» решение под такие фрагменты, а не под объект в целом. В результате может возникнуть квазиоптимальное решение: формально значение целевой функции является приемлемым, однако отдельные участки объекта сохраняют значимые искажения, распределенные неравномерно.

Следует отметить, что для одних объектов достаточно двухпараметрической оптимизации (решения на сфере), связанной с положением оси проекции; для других требуется многопараметрическая оптимизация, учитывающая такие переменные как главный масштаб и центр проекции, поверхность проектирования, свойства кривизны и кручения. Однако сферические решения могут выступать для последних в качестве начальных условий поиска (стартовых значений) оптимальных параметров численными методами. В качестве вычислительной основы могут применяться алгоритмы численных методов оптимизации: Levenberg–Marquardt, Trust-Region Reflective, Interior-Point, SQP, Nelder–Mead и других.

Результатом является объединение аналитических моделей, методов фильтрации данных, ГИС-технологий и верификации результатов в целостную методологию, задающую последовательность следующих действий:

- определить состав ЛПП-объекта;
- сформировать массив характерных точек;
- оценить их распределение и выполнить фильтрацию;
- выбрать аналитическую модель;
- рассчитать параметры проекционной системы координат;
- оценить частные масштабы и топологические эффекты;
- сопоставить результат с нормативными требованиями;
- экспортировать параметры проекции в ГИС, обеспечивая единое представление всего массива сведений ЕГРН в новой системе координатного описания.

В рамках данного исследования методология рассматривается как совокупность научных предметов, методических подходов и технологических решений, реализуемых на базе ГИС. Ее логика может быть представлена следующей записью:

$$M = \{A, F, G, V, R\}, \quad (9)$$

где M – методология координатного описания;

A – аналитические модели проектирования систем координатного описания;

F – процедуры фильтрации и оценки характерных точек;

G – ГИС-технологии подготовки, преобразования и визуализации пространственных данных;

V – процедуры верификации и сравнения искажений;

R – порядок применения результатов в кадастровых и землеустроительных работах, мониторинге земель.

Для учетных систем недвижимости результаты исследования важны как основа повышения достоверности пространственных данных и снижения топологических несоответствий, координатная основа пространственного анализа состояния и использования земель, природных ресурсов и окружающей среды [1, 3, 13].

Отдельное направление применения методологии связано с развитием применения инженерных цифровых моделей местности (СП 333.1325800.2020. Свод правил информационное моделирование в строительстве. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный). Для крупных инфраструктурных проектов погрешности в геометрических характеристиках исходных данных влияют на затраты и безопасность эксплуатации, эффективность планирования развития территорий.

Заключение

Разработанные аналитические модели проектирования систем координатного описания местоположения ЛП-объектов позволяют перейти от зонального (фрагментированного) описания к проектируемому единому координатному пространству объекта учета. Использование секущих плоскостей на сфере, прямых уравнений преобразования координат и частного масштаба обеспечивает снижение метрических искажений и повышает достоверность пространственного анализа.

Установлено, что неравномерное распределение характерных точек может привести к

квазиоптимальным решениям нахождения параметров систем координат. Поэтому оценка распределения и фильтрация характерных точек с использованием предложенной функции плотности равномерного распределения вероятности и критерия χ^2 являются необходимой процедурой в методологии координатного описания.

Полученные новые знания о проектировании систем координатного описания повышают качество комплексной диагностики природных, природно-хозяйственных и социально-экономических территориальных систем, а также эффективность ведения государственных и корпоративных кадастров и реестров. Это демонстрирует примером практического применения методологии (см. табл. 1) в землеустроительных работах на объекте с учетным номером 54.00.2.12. В частности, показано снижение искажения площади с 1 / 4 058 (в местной системе координат) до 1 / 23 537 (предлагаемая система). Тем самым сформированная методология координатного описания линейно-протяженных объектов представляет собой целостную совокупность научных подходов, методик и технологических решений, реализуемых в среде ГИС. Она обеспечивает сохранение геометрических учетных характеристик ЛП-объектов, единство координатного описания и связь с государственной системой координат.

Научная новизна работы определяется установлением системной взаимосвязи между аналитическими моделями проектирования систем координатного описания ЛП-объектов, с учетом их классификации по уровню влияния на качество (сокращение искажений) описания местоположения, процедурами оценки и фильтрации характерных точек и интегральной методологией применения полученных результатов в кадастре, землеустройстве и мониторинге земель.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Портнов А. М., Загребин Г. И., Чжэньфэн Ш. Совершенствование координатной основы пространственных данных единого государственного реестра недвижимости. Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25. № 2. С. 232–243.

2. Афонин К. Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса – Крюгера // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.) Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. С. 155–158.
3. Аврунев Е. И. [и др.]. О выборе систем координат для ведения кадастра недвижимости. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 3. С. 49–53.
4. Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Местные системы координат. Существующие проблемы и пути их решения. Геопрофи. 2009. Вып. 2. С. 52–57.
5. Pliffe J. C., Arthur J. V., Preston C. The snake projection: A customised grid for rail projects. Survey Review. 2007. Т. 39. №. 304. С. 90–99.
6. Clemen C., Romanschek E. 6326 Shades of Georeferencing BIM-Low distortion projections (LDP) for the German Railway. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2025. Т. 48. С. 47–53.
7. Чебышев П. Л. Сочинения. СПб., 1899. Т. 1. 714 с.
8. Бугаевский, Л. М. Математическая картография : учеб. для вузов. М. : Златоуст, 1998. 400 с.
9. Deakin R. E., Hunter M. N., Karney C. F. F. The Gauss–Krueger projection: Karney-Krueger equations. Victorian Regional Survey Conference. Warrnambool, 2010. P. 1–20.
10. Boljen M. The choice of the map projection for the real estate cadastre. Proceedings of the FIG Working Week. Athens, 2004.
11. Williamson I., Enemark S., Wallace J., Rajabifard A. Land Administration for Sustainable Development. Redlands, CA : ESRI Press, 2010.
12. Grant D., Enemark S., Zevenbergen J., Mitchell D., McCamley G. The Cadastral triangular model. Land Use Policy. 2020. Vol. 97. 104758.
13. Гулин В. Н., Миронов С. А., Неретин А. А. Проблема обеспечения единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли. САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). С. 75–82.
14. Measuring the Similarity of Map Projections Waldo Tobler Cartography and Geographic Information Science, 1986. Vol. 13, Issue 2, Pages 135-139 DOI:10.1559/152304086783900103.
15. Airy G. B. Explanation of a projection by balance of errors for maps applying to a very large extent of the Earth's surface; comparison of this projection with other projections. Philosophical Magazine, 22, 409–442. 1861. DOI:10.1080/14786446108643179.
16. Каврайский В. В. Исследования по математической картографии. Л., 1933. 276 с.
17. Nocedal J., Wright S. J. Numerical Optimization. 2nd ed. – Springer, 2006. 653 p.
18. Coleman T. F., Li Y. An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds. SIAM Journal on Optimization. 1996. Vol. 6. № 2.
19. Fahlman A. A modified Marquardt-Levenberg parameter estimation routine for MATLAB. Report NMRC. 2001. С. 01-002.
20. Холоднов В. А. и др. Открытые альтернативы matlab для решения задач многоцелевой оптимизации. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. 2020. №. 54. С. 80–86.
21. Арановский С. В., Гриценко П. А. Инструменты численного решения задач оптимизации. СПб. : Университет ИТМО. 2016. Т. 30.
22. Snyder J. P. Map Projections: A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington, DC: United States Government Printing Office. 1987. 385 p. DOI 10.3133/pp1395.
23. Теория вероятностей в пакете MATLAB : учебник для вузов. М. : Горячая линия Телеком, 2014. 611с. ISBN 978-5-9912-7005-2.
24. Chernoff H., Lehmann E. L. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit. The Annals of Mathematical Statistics. 1954. Vol. 25. P. 579–586.

25. Щедровицкий, Г. П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок. Системные исследования. Ежегодник. 1981. 197 с.

REFERENCES

1. Portnov, A. M., Zagrebin, G. I., Chzhen'fen, Sh. (2020). Improving the coordinate basis of spatial data of the unified state register of real estate. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSSUGT]*, 25(2), 232–243. [In Russian]
2. Afonin, K. F. (2009). On the selection of zone sizes in the Gauss-Kruger projection. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, 1(1), 155–158. [In Russian]
3. Avrunev, E. I., et al. (2014). On the selection of coordinate systems for maintaining a real estate cadastre. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, 3(2), 49–53. [In Russian]
4. Dem'yanov, G. V., Mayorov, A. N., Pobedinskiy, G. G. (2009). Local Coordinate Systems: Existing Problems and Solutions. *Geoprofi [Geoprofi.]*, (2), 52–57. [In Russian]
5. Iliffe J. C., Arthur J. V., Preston C. The snake projection: A customised grid for rail projects. *Survey Review*. 2007. Vol. 39. No. 304. p. 90-99.
6. Clemen C., Romanschek E. (2025). 6326 Shades of Georeferencing BIM-Low distortion projections (LDP) for the German Railway. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. 48. p. 47-53.
7. Chebyshev, P. L. (1899). *Sochineniya [Essays]* Vol. 1. Saint Petersburg. [In Russian]
8. Bugaevskiy, L. M. (1998). *Matematicheskaya kartografiya [Mathematical cartography]*. Moscow: Zlatoust. [In Russian]
9. Deakin, R. E., Hunter, M. N., Karney, C. F. F. (2010). The Gauss–Krueger projection: Karney-Krueger equations. In *Victorian Regional Survey Conference* (pp. 1–20). Warrnambool.
10. Boljen, M. (2004). The choice of the map projection for the real estate cadastre. In *Proceedings of the FIG Working Week. Athens*.
11. Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., Rajabifard, A. (2010). *Land Administration for Sustainable Development*. Redlands, CA: *ESRI Press*.
12. Grant, D., Enemark, S., Zevenbergen, J., Mitchell, D., McCamley, G. (2020). The Cadastral triangular model. *Land Use Policy*, 97, 104758.
13. Gulin, V. N., Mironov, S. A., Neretin, A. A. (2015). The problem of providing a single coordinate space for road industry objects. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog [SAPR and GIS for highways]*, 1(4), 75–82. [In Russian]
14. Tobler, W. (1986). Measuring the Similarity of Map Projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 13(2), 135-139. DOI:10.1559/152304086783900103
15. Airy, G. B. (1861). Explanation of a projection by balance of errors for maps applying to a very large extent of the Earth's surface; comparison of this projection with other projections. *Philosophical Magazine*, 22, 409–442. DOI:10.1080/14786446108643179
16. Kavrayskiy, V. V. (1933). *Issledovaniya po matematicheskoy kartografii. [Research in mathematical cartography]* Leningrad. [In Russian]
17. Nocedal, J., Wright, S. J. (2006). *Numerical Optimization* (2nd ed.). *Springer*.
18. Coleman, T. F., Li, Y. (1996). An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds. *SIAM Journal on Optimization*, 6(2).
19. Fahlman, A. (2001). A modified Marquardt-Levenberg parameter estimation routine for MATLAB. *Report NMRC*, 01-002.
20. Kholodnov, V. A., et al. (2020). Open source alternatives to Matlab for solving multi-objective optimization problems. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta [News of the Saint Petersburg State Institute of Technology]*, (54), 80–86. [In Russian]

21. Aranovskiy, S. V., Gritsenko, P. A. (2016). *Instrumenty chislennogo resheniya zadach optimizatsii [Tools for numerical solution of optimization problems]*. Saint Petersburg: Universitet ITMO. [In Russian].
22. Snyder, J. P. (1987). Map Projections: A Working Manual. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. *Washington, DC: United States Government Printing Office*. DOI:10.3133/pp1395.
23. *Teoriya veroyatnostey v pakete MATLAB. [Probability theory in the MATLAB package.]* (2014). Moscow: Goryachaya liniya – Telekom. [In Russian]
24. Chernoff, H., Lehmann, E. L. (1954). The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit. *The Annals of Mathematical Statistics*, 25, 579–586.
25. Shchedrovitskiy, G. P. (1981). Principles and general scheme of methodological organization of systemic-structural research and development. In *Sistemnye issledovaniya. Ezhegodnik [In Systems Research Yearbook]* (p. 197). [In Russian].

Об авторе

Алексей Михайлович Портнов – кандидат технических наук, доцент кафедры права и государственной регистрации недвижимости.

Author details

Aleksei M. Portnov – PhD, Associate Professor, Department of Law and State Registration of Real Estate.

Получено / Received 03.06.2026

Поступила после рецензирования / Revised 30.06.2026

Принята к публикации / Accepted 17.07.2026