

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В НЕОДНОРОДНОМ ГЕОПРОСТРАНСТВЕ

Виктор Анатольевич Калюзин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 610108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, зав. кафедрой геоматики и инфраструктуры недвижимости, тел. (952)907-19-83, e-mail: kaluzhin@mail.ru

Федор Васильевич Каравайцев

Администрация города Бердска, 633010, Россия, г. Бердск, ул. Максима Горького, 9, кандидат технических наук, начальник управления градостроительства администрации города Бердска, тел. (913)734-70-70, e-mail: nord054@yandex.ru

Вера Николаевна Щукина

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и фотограмметрии, тел. (909)190-01-92, e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

В статье рассматриваются теоретическая основа и методика технического проектирования границ муниципальных образований в неоднородном геопространстве.

Научная гипотеза работы состоит в том, что применение технической аппроксимации при проектировании границ муниципальных образований позволит учесть неоднородность исходных геопространственных данных и научно-обосновано устанавливать их на местности.

Отмечается, что существующие способы технического проектирования границ муниципальных образований не позволяют учесть неоднородность исходных геопространственных данных об объектах в области проектирования, а функционал программного обеспечения для подготовки землеустроительной документации имеет низкий уровень автоматизации геометрического проектирования. Следствием этого являются значительные трудозатраты и влияние субъективного фактора на проектные решения. Также нет единого подхода к осуществлению технического и геометрического проектирования границ муниципальных образований. Вместе с тем становление института местного самоуправления в России требует достоверных и актуальных данных о состоянии территории, в том числе о границах муниципальных образований. Для решения этой задачи разработана методика, которая включает принципы, дополнительные требования, алгоритм и программный модуль. Теоретическая основа технического проектирования опирается на общую постановку задачи динамического программирования, а алгоритм геометрического проектирования – на математическую модель весового скользящего среднего.

Доказано, что применение технической аппроксимации с помощью весового скользящего среднего при геометрическом проектировании позволяет учесть неоднородность исходных геопространственных данных об объектах в области проектирования, исключить субъективный фактор и повысить уровень автоматизации проектных работ. В итоге это позволяет получить релевантные границы муниципальных образований и, как следствие, минимизировать издержки на разрешение территориальных споров, и повысить эффективность принятия управленческих решений.

Ключевые слова: границы, техническое проектирование, геопространственные данные, неоднородность, требования, алгоритм, методика.

TECHNICAL DESIGN OF THE LIMITS OF MUNICIPAL BOUNDARIES IN INHOMOGENEOUS GEOLOGICAL SPACE

Victor A. Kalyuzhin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of the Department of Geomatics and Real Estate Infrastructure, phone: (952)907-19-83, e-mail: kaluzhin@mail.ru

Fedor V. Karavaitsev

Carapicev the City Administration of Berdsk, 9, Maksima Gorkogo St., Berdsk, 633010, Russia, Ph. D., Head of Department of Urban Planning of a City Administration of Berdsk, phone: (913)734-70-70, e-mail: nord054@yandex.ru

Vera N. Shchukina

Tyumen Industrial University, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Photogrammetry, phone: (909)190-01-92, e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

The article deals with the theoretical basis and technique of technical design of municipal boundaries in a heterogeneous geospatial environment.

The scientific hypothesis of the work is that the use of technical approximation in the design of the boundaries of municipalities will take into account the heterogeneity of the original geospatial data and scientifically justified to install them on the local.

It is noted that the existing methods of technical design of the boundaries of municipal formations do not allow to take into account the heterogeneity of the original geospatial data on objects in the field of design, and the functionality of software for the preparation of land management documentation has a low level of automation of geometric design. The consequence of this is significant labor costs and the influence of the subjective factor on the design decisions. There is also no single approach to the implementation of technical and geometric design of the boundaries of the municipal formations. At the same time, the establishment of the Institute of local self-government in Russia requires reliable and relevant data on the state of the territory, including the boundaries of municipalities. To solve this problem, a methodology has been developed, which includes principles, additional requirements, algorithm and software module. The theoretical basis of technical design is based on the General formulation of the dynamic programming problem, and the geometric design algorithm – on the mathematical model of the weight moving average.

It is proved that the use of technical approximation using a weight sliding average in geometric design allows to take into account the heterogeneity of the current geospatial data on objects in the field of design, to exclude the subjective factor and to increase the level of automation of design work. As a result, it allows to obtain the relevant boundaries of municipalities and, as a result, to minimize the costs of resolving territorial disputes and increase the efficiency of managerial decision-making.

Key words: boundaries, technical design, geospatial data, heterogeneity, requirements, algorithm, methodology.

Введение

Становление института местного самоуправления и управление развитием территорий невозможны без полных, достоверных и актуальных данных об их состоянии, в том числе без установленных границ муниципальных образова-

ний, так как это взаимосвязано с организационными, финансовыми и компетентностными основами местного самоуправления [1].

Субъекты Российской Федерации, начиная с 2016 г., приступили к реализации Комплексного плана мероприятий по внесению в Единый государственный реестр недвижимости сведений (ЕГРН) о границах между субъектами Российской Федерации, в том числе о границах муниципальных образований [2]. К 2021 году доля границ муниципальных образований в ЕГРН должна составлять 100 % [3].

По состоянию на 1 марта 2018 г. в ЕГРН содержатся сведения о 11 430 из 22 327 границах муниципальных образований, что составляет 51,2 % [4].

Все это подчеркивает актуальность и практическое значение темы исследования.

Анализ зарубежного опыта [5–8], законодательной основы и нормативно-технической документации России в аспекте установления границ муниципальных образований [9–14] выявил следующее.

В настоящее время в России разработаны отдельные требования к описанию и установлению границ МО на местности. Вместе с тем нет единого подхода к выполнению технического проектирования границ МО.

Землеустроительные работы по установлению границ муниципальных образований (границы МО) выполняют в две стадии.

На первой стадии Законодательное Собрание субъекта Федерации утверждает карту-схему и картографическое (координатное) описание границ МО в виде закона субъекта Федерации. Карту-схему составляют на топографических картах масштабов 1: 100 000 – 1: 10 000.

На второй стадии выполняют описание местоположения и (или) установление границ МО на местности в виде карты (плана) объекта землеустройства.

Карта (план) объекта землеустройства состоит из текстовой части и плана границ объекта землеустройства [13]. План границ объекта землеустройства (план границ) представляют на материалах и данных картографических работ масштаба 1: 100 000 и крупнее, а при его подготовке используют неоднородные исходные геопространственные данные об объектах в области проектирования (сведения из ЕГРН, геодезические, картографические, топографические данные, данные дистанционного зондирования земли, землеустроительные, градостроительные и другие материалы). Иными словами, исходные данные, которые неоднородны как по виду, так и по точности. Все это обуславливает проведение уточнения координатного описания границ МО с учетом неоднородности исходных геопространственных данных об объектах в области их проектирования.

Процесс уточнения координатного описания границ МО называют техническим проектированием, где применяют три способа: аналитический; графический и комбинированный. На практике широкое распространение получили первый и третий способы. Здесь решаются два типа задач: площадь территории должна быть равна заданному значению; площадь территории должна быть больше минимально допустимого значения. При этом применяют формулы

аналитической геометрии и планиметрии (общеизвестные формулы для вычисления площади треугольника, прямоугольника, трапеции). Формулы комбинируют с решением обратной геодезической задачи. Поэтому этот процесс еще называют геометрическим проектированием [14]. Формулах не предусмотрен учет неоднородности исходных геопространственных данных об объектах в области проектирования. И опыт установления границ в Новосибирской области это подтвердил [15–17]. Кроме этого на проектное решение значительно влияет субъективный фактор.

При выполнении землеустроительных работ применяют специальное программное обеспечение: АКТ, АРГО, АРМ КИН, Зем. дело 8.1, ПроГео, комплекс программ Полигон, модули в составе комплексов программ Кредо-Диалог, геоинформационная система ГИС Карта, земельно-информационная система Кадастровый офис и др. [18–23]. Функционал этого программного обеспечения ориентирован только на автоматизацию оформления текстовой части и плана границ в землеустроительном документе и на взаимодействие с органами регистрации права. В программном обеспечении отсутствует специальный режим для геометрического проектирования границ МО и не предусмотрена возможность учета неоднородности геопространственных данных. Но графический редактор программ в принципе позволяет выполнить уточнения границ МО комбинированным способом в интерактивном режиме. Здесь следует отметить, что уровень автоматизации такого проектирования низкий. Это приводит к ошибкам, имеющими субъективный характер.

От качества и оперативности технического, в том числе от геометрического проектирования зависит не только достоверность и надежность принятых проектных решений, но и эффективность управленческих решений на территории муниципального образования.

В этой связи возникает необходимость в разработке методики технического проектирования границ МО, где при выработке проектных решений учитывалась неоднородность исходных геопространственных данных об объектах в области проектирования, т.е. неоднородность как по виду, так и по точности исходных данных.

Научная гипотеза исследования состоит в том, что применение технической аппроксимации при геометрическом проектировании границ МО позволит научно-обосновано устанавливать их на местности и повысить уровень автоматизации. И опираясь на эту гипотезу, разработали теоретическую основу технического проектирования, алгоритм и программный модуль для выполнения геометрического проектирования.

Теоретическая основа

Пусть в области проектирования границ муниципального образования B имеется неоднородное геопространство $ГП = \cup ID_s$ – подмножество как объединение неоднородных по виду и точности исходных геопространственных

данных о границах земельных участков (ЗУ); объектов землеустройства (ОЗ); объектов недвижимости (ОН); территориальных зон (ТЗ); естественных или искусственных рубежей (ЕИР). Также утвержденные границы МО, отображенные на крупномасштабных планах G_o и предложения глав администраций муниципальных образований о прохождении части (ей) границ МО \hat{g}_i .

Если исходить из общей постановки задачи динамического программирования [24], то процесс технического проектирования границ МО можно представить следующим образом.

Пусть состояние границ на i -ом шаге характеризуется вектором $G_i \in G$, который зависит от предшествующего состояния G_{i-1} и управления (вектора перемещения i -й характерной точки границы в двумерном пространстве) $U_i \in U$ с учетом неоднородности исходных геопространственных данных ИД_s. Переменные параметры $U_i(\Delta x_i, \Delta y_i)$ удовлетворяют ограничению $f_i(U_i) \leq b_i$, для всех U_i должно выполняться следующее неравенство: $-b_j \leq U_i \leq +b_j$, где $\Delta x_i, \Delta y_i$ – приращения координат i -й характерной точки границы. В этом смысле множество U_i является подмножеством допустимых управлений или воздействий на границу с учетом неоднородности исходных геопространственных данных ИД_s.

Тогда состояние границы можно записать в виде следующего уравнения:

$$G_i = \varphi_i(G_{i-1}, \text{ИД}_s, U_i). \quad (1)$$

Множество управляющих воздействий U на состояние контура G границ МО в процессе технического проектирования должно быть согласовано со следующими принципами:

– актуальность, т. е. техническое проектирование границ должно выполняться на основании актуальных топографических карт (планов) и сведений о границах земельных участков в области проектирования границ муниципальных образований B ($B = 3 \cdot m_k$, где m_k средняя квадратическая погрешность карты - схемы) на стадии как формирования, так и образования объектов кадастрового учета в ЕГР;

– однозначность, т. е. описание местоположения проектных границ МО должно позволить однозначно позиционировать (трактовать) границы на картах (планах) и местности;

– сопоставимость, т. е. местоположение проектной границы МО на крупномасштабных картах (планах) должно соответствовать картографическому описанию границ, представленных на карте-схеме в законе субъекта Федерации;

– согласованность, т. е. техническое проектирование границ МО должно выполняться с учетом генерального плана, функционального зонирования территории, сложившегося землепользования и сведений из ЕГРН;

– непрерывность, т. е. граница МО должна представлять собой непрерывную линию. Недопустимы разрывы в границе, вклинивания в территорию муниципального образования обособленных частей территории муниципального образования, если это не определено в законе субъекта Федерации;

– от общего к частному, т. е. техническое проектирование границ МО должно осуществляться в следующем порядке: границы – часть границы – характерная точка [25].

Исходя из предложенных принципов можно определить следующие требования (U) к процессу воздействия на текущее состояние контура (G) границ МО (курсивом выделены дополнительные требования, предложенные авторами).

1 Семантическое описание уточненной границы МО с учетом принципа картографической генерализации должно быть тождественно картографическому описанию границ МО на карте-схеме.

2 Топологические отношения уточненной границы МО между объектами должны быть тождественны картографическому описанию МО на карте-схеме.

3 Уточненная граница или ее части должны быть совмещены с границами объектов, сведения о которых были получены из ЕГРН, если отклонения контура G_o от этих границ не превышают средней квадратической погрешности карты - схемы (m_k).

4 Предложения глав администраций муниципальных образований по прохождению отдельных частей границ МО должны быть учтены, если они не противоречат требованиям 1, 2 и 8.

5 Местоположение уточненной границы должно учитывать ранее предоставленные земельные участки и планируемое строительство в пределах области проектирования муниципального образования B , при соблюдении требований пп. 1, 2 и 8.

6 Земельные участки, входящие в состав единого комплекса, но расположены в разных муниципальных образованиях, должны быть включены в ту территорию, где расположен основной объект данного комплекса. Здесь необходимо учитывать пп. 1, 2 и 8, распорядительные документы органа государственной власти субъекта Федерации или органов местного самоуправления, планируемые передачи объектов недвижимости между муниципальными образованиями и мнения (пожелания) правообладателей.

7 Если часть территории или часть земельного участка (например, предоставленная садоводческому, гаражно-строительному обществу либо под индивидуальное жилищное строительство) расположена на территории муниципального образования в пределах $2/3$ от общей площади, то целесообразно включить всю территорию (земельный участок) в это муниципальное образование.

8 Уклонения частей уточненной границы МО от границ на карте-схеме не должны выходить за область проектирования B .

9 Сумма площади включаемых и исключаемых земель из территории муниципального образования, границы которого уточняются, относительно гра-

ниц МО, утвержденных законом субъекта Федерации, должна равняться нулю, т. е. должен соблюдаться баланс земель на уровне муниципального района.

10 Максимальное значение площади включаемых (исключаемых) земель не должно превышать предельной ошибки определения площади на карте-схеме.

11 Уточненная граница не должна пересекать границы земельных участков, населенных пунктов, муниципальных образований и территориальных зон, части границ субъектов Федерации, если эти границы установлены в соответствии с требованиями градостроительного и земельного законодательства; здания, жилые дома, постройки на капитальном фундаменте, сооружения и уточняемые границы муниципальных образований.

12 Местоположение границ МО устанавливается посредством определения плоских прямоугольных координат характерных точек границ объекта землеустройства в местной системе координат.

13 Координаты поворотных точек границ МО определяются с необходимой нормативной точностью.

14 Не допускается изломанность границ, если это не обусловлено существующими естественными или искусственными рубежами.

15 Уточненная граница МО может пересекать границы земельных участков, если выявлены реестровые ошибки либо многоконтурный участок, предоставленный для линейных объектов.

16 Уточненная граница МО может пересекать границы земельных участков, территориальных зон, населенных пунктов, муниципальных образований, если их статус – декларативный (неуточненные), при этом значение площади, например, земельного участка в новых границах (измененных) не должно превышать предельно допустимого значения.

Зададим на декартовом произведении $G \cdot U \cdot \text{ИД}_s$ функцию эффективности управления $Z: G \cdot \text{ИД}_s \cdot U \rightarrow T$:

$$z_i = \min f_i(G_{i-1}, \text{ИД}_s, U_i). \quad (2)$$

Тогда задача технического проектирования границ МО будет сводиться к выбору такого набора управлений U_1, U_2, \dots, U_N , которые переводят границы из начального состояния G_H в финальное – уточненное G_K , при котором целевая функция Z принимает наименьшее значение

$$Z = \sum f_i(G_{i-1}, \text{ИД}_s, U_i) \rightarrow \min. \quad (3)$$

При этом эффективное перемещение i характерной точки в двумерном пространстве выполняется при фиксации остальных вершин (характерных точек) этой границы, т. е. $N \setminus \{i\}$, при $N = (1, 2, \dots, N)$, $i = (1 \vee 2 \vee \dots \vee N)$.

Примем в качестве главного условия соблюдение баланса земель на уровне муниципального района (п. 9 требований к техническому проектированию),

тогда выражение (3) можно записать, как функцию разности площади территории границ МО на карте-схеме G_{Π} с текущим состоянием контура G_i границ МО, полученного в процессе уточнения (геометрического проектирования):

$$d_s |(G_{\Pi}, G_i)| \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где $\varepsilon - 0,1$ от точности представления площади в землеустроительном документе.

Следовательно, геометрическое проектирование границ МО можно представить в виде аппроксимации с ограничениями U , где учитываются баланс земель (главное условие) и неоднородность исходных геопространственных данных ИД_s.

Методы аппроксимации и их классификация подробно рассмотрены в работе [26]. Условно все методы аппроксимации разделяют на два типа:

- строгая теория математической аппроксимации;
- техническая аппроксимация.

Отмечают, что применение технической аппроксимации позволяет оперативно решать большой объем задач при ограниченном количестве времени.

Одним из широко применяемых методов технической аппроксимации является метод Кригинга [27], в его основу положена математическая модель весового скользящего среднего. Поэтому при разработке алгоритма геометрического проектирования авторы опирались на эту математическую модель.

Итак, сущность разработанного алгоритма геометрического проектирования в неоднородном геопространстве заключается в следующем.

Для каждой i -й перемещаемой характерной точки контура границ МО (G) определяют уточненные координаты $\tilde{x}_{i,k}$ и $\tilde{y}_{i,k}$ по ниже представленным формулам:

$$\tilde{x}_{i,k} = X_{i,k-1}^T \cdot W_{i,k-1}^x \cdot (E^T \cdot W_{i,k-1}^x)^{-1}, \quad (5)$$

$$\tilde{y}_{i,k} = Y_{i,k-1}^T \cdot W_{i,k-1}^y \cdot (E^T \cdot W_{i,k-1}^y)^{-1},$$

где $X_{i,k-1}$ и $Y_{i,k-1}$ – вектор-столбцы абсцисс и ординат вариантов расположения i -й характерной точки G соответственно в $(k-1)$ -й итерации; $W_{i,k-1}^x$ и $W_{i,k-1}^y$ – вектор-столбцы весов абсцисс и ординат вариантов расположения i -й характерной точки G соответственно в $(k-1)$ -й итерации; E – матрица-столбец, масштабных коэффициентов элементов матрицы $\Lambda^{x(y)}$.

Элементы $w_j^{x(y)}$ матриц $W_{i,k-1}^x$ и $W_{i,k-1}^y$ вычисляют по формуле

$$w_j^{x(y)} = \alpha \cdot \Lambda^{x(y)} \cdot Q, \quad (6)$$

где j – порядковый номер варианта расположения i -й характерной точки G , т. е. $j = 1, 2, \dots, m$; $\Lambda^{x(y)}$ – вектор-строка оценок учета основного условия проек-

тирования $\lambda_o^{x(y)}$ и неоднородности по точности исходных геопространственных данных основных объектов $G_{\text{ГП}}$ (ГП: $G_{\text{ГП}} = \text{ЗУ} \cup \text{ОЗ} \cup \text{НО} \cup \text{ТЗ} \cup G_o \cup \text{ЕИР}$), которые отображены на карте или плане λ_s в области B , где $s = 1, 2, \dots, O$;

α – коэффициент, характеризующий выполнение топологических отношений (находится внутри области B и не пересекает границы объектов: ЗУ, ОЗ, НО и ТЗ) между j -м вариантом расположения G и границами объектов $G_{\text{ГП}}$, кроме естественных и искусственных рубежей и G_o ; Q – вектор-столбец важности или приоритета основного условия проектирования (q_o) и неоднородности по точности границ основных объектов $G_{\text{ГП}}$ (q_s).

Коэффициент α определяют путем произведения значений признаков выполнения топологического отношения α_s^* между j -м вариантом G и s -й границей объекта (ЗУ, ОЗ, НО и ТЗ):

$$\alpha = \prod_{s=1}^{O-r-1} \alpha_s^*, \quad (7)$$

где r – количество естественных и искусственных рубежей, расположенных на карте (плане) в области B в районе i -й характерной точки G .

Значение признака $\alpha_s^* = 0$, если топологическое отношение не выполняется, в противном случае $\alpha_s^* = 1$.

Элементы вектора $\Lambda^{x(y)}$ вычисляют по следующим формулам:

$$\lambda_o^x = \begin{cases} \frac{\Delta x_{i,k-1}}{\eta}, & \text{если } \Delta x_{i,k-1} \leq \eta; \\ 0,1, & \text{если } \Delta x_{i,k-1} = 0; \\ \frac{\eta}{\Delta x_{i,k-1}}, & \text{если } \Delta x_{i,k-1} > \eta; \end{cases} \quad (8)$$

$$\lambda_o^y = \begin{cases} \frac{\Delta y_{i,k-1}}{\eta}, & \text{если } \Delta y_{i,k-1} \leq \eta; \\ 0,1, & \text{если } \Delta y_{i,k-1} = 0; \\ \frac{\eta}{\Delta y_{i,k-1}}, & \text{если } \Delta y_{i,k-1} > \eta; \end{cases} \quad (9)$$

$$\lambda_s = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq l_s \leq m_s; \\ \frac{m_s}{l_s}, & \text{если } l_s > m_s, \end{cases} \quad (10)$$

где $\Delta x_{i,k-1} = |\tilde{x}_{i,k-1} - x_{i,k-1}|$; $\Delta y_{i,k-1} = |\tilde{y}_{i,k-1} - y_{i,k-1}|$; $\eta = \frac{|P_{\Pi} - P_{k-1}|}{L_{k-1}}$;

$\tilde{x}_{i,k-1}$ и $\tilde{y}_{i,k-1}$ – уточненные координаты i -й характерной точки G в $(k-1)$ -й итерации; $x_{i,k-1}$ и $y_{i,k-1}$ – координаты в j -м варианте i -й характерной точки G в $(k-1)$ -й итерации; P_{Π} – утвержденная площадь территории МО в законе субъекта Федерации; P_{k-1} – площадь территории МО в $(k-1)$ -й итерации; L_{k-1} – периметр G_2 в $(k-1)$ -й итерации; m_s – средняя квадратическая ошибка метрики границ основных объектов $G_{\text{гп}}$; l_s – кратчайшее (минимальное) расстояние от j -го варианта расположения i -й характерной точки G в $(k-1)$ -й итерации до s -й границы основного объекта $G_{\text{гп}}$.

После вычисления уточненных координат $\tilde{x}_{i,k}$ и $\tilde{y}_{i,k}$ характерных точек границ МО по формулам (5) проверяют точность аппроксимации d_s по формуле (11):

$$d_{s,k-1} = |P_{\Pi} - P_{k-1}| \leq \varepsilon. \quad (11)$$

Если это условие не выполняется, тогда снова для каждой i -й перемещаемой характерной точки контура G_2 задают варианты расположения и вычисляют $\tilde{x}_{i,k}$ и $\tilde{y}_{i,k}$ по формулам (5). В ином случае завершают процесс уточнения границ МО.

Предложенный алгоритм геометрического проектирования границ МО достаточно прост. Однако перед нами возникают два новых вопроса. Какие должны быть значения коэффициентов q_o и q_s ? Как уменьшить объем вычислений, т.е. как понизить размерность задачи?

Для поиска ответа на первый вопрос было выполнено исследование влияния отношения коэффициентов q_s / q_o на точность аппроксимации ds .

При исследовании отношения q_s / q_o задавались в диапазоне от 1 до 100 и после каждого первого приближения фиксировали ds . Перед итерацией задавалась начальная площадь модели территории МО P_{Π} в пределах 10 % от P_{Π} . И на основании полученных результатов составлялся график (рис. 1).

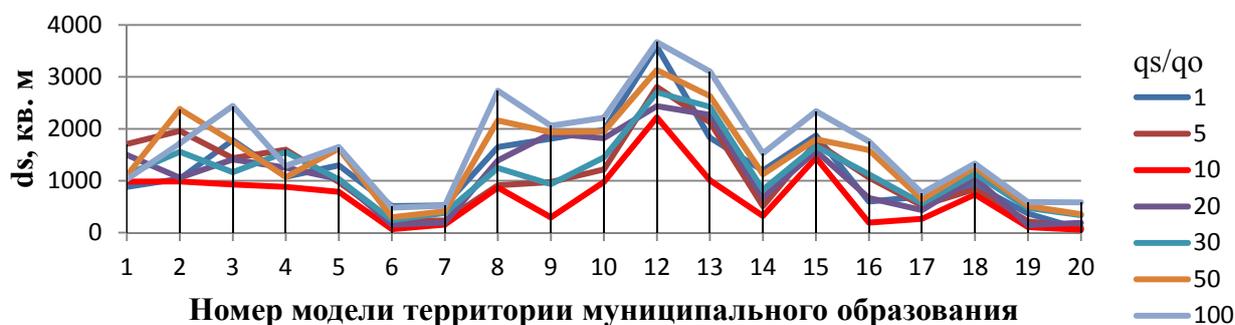


Рис. 1. Влияние значения отношения q_s / q_o на ds

Из рис. 1 видно, что ds преимущественно принимает минимальное значение при отношении $q_s / q_o = 10$. Если обобщить результаты исследования путем осреднения ds (рис. 2), то можно утверждать, что наиболее высокая точность аппроксимации, можно предположить, что и минимальное количество приближений, будет в случае, когда отношение $q_s / q_o = 10$.

Если принять, что $0 < q_i \leq 1$, тогда коэффициенты q_i будут иметь следующие значения: $q_o = 0,1$, а $q_s = 1,0$.

Важным сдерживающим фактором применения вышеизложенного алгоритма является размерность задачи, т. е. количество шагов, переменных и ограничений (требований). Если уточнение границ МО будет осуществляться с учетом предложенных требований, то это приведет к большому объему вычислений.

Как известно, понижение размерности многокритериальной задачи осуществляют путем агрегирования требований, предварительно упорядоченных в иерархической структуре приоритетов [28].

Если все требования к техническому, в том числе и геометрическому проектированию расположить по схеме «от общего к частному». Тогда можно сформировать три группы объединенных требований: пп. 1 и 2; пп. 3–7 и пп. 8–16. Будем учитывать каждую группу отдельно при формировании проектных G_o и эскизных границ МО $G_s = G_1 \cup G_2$ соответственно, т.е. модель проектные границ МО G_o необходимо формировать с учетом первой группы требований, а части эскизной границы G_1 и G_2 – второй и третьей.

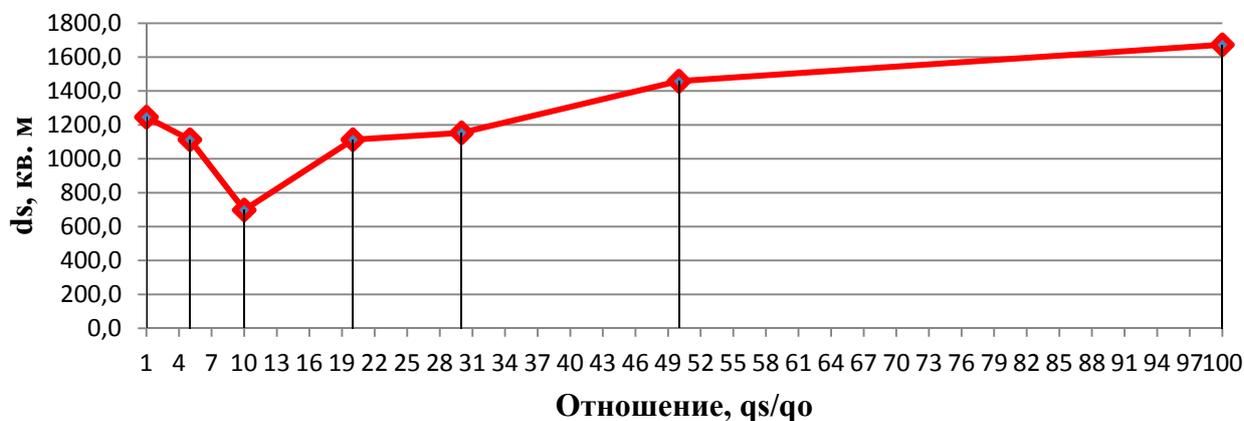


Рис. 2. Обобщенный характер зависимости ds от значения отношения q_s/q_o

Здесь необходимо отметить, что третья группа требований включена в алгоритм геометрического проектирования границ МО.

Методика

Опираясь на теоретическую основу технического проектирования границ МО была разработана методика, блок-схема которой представлена на рис. 3,

где процесс технического проектирования границ МО включает три этапа: семантическое (I); геометрическое (II); проектное решение (III).

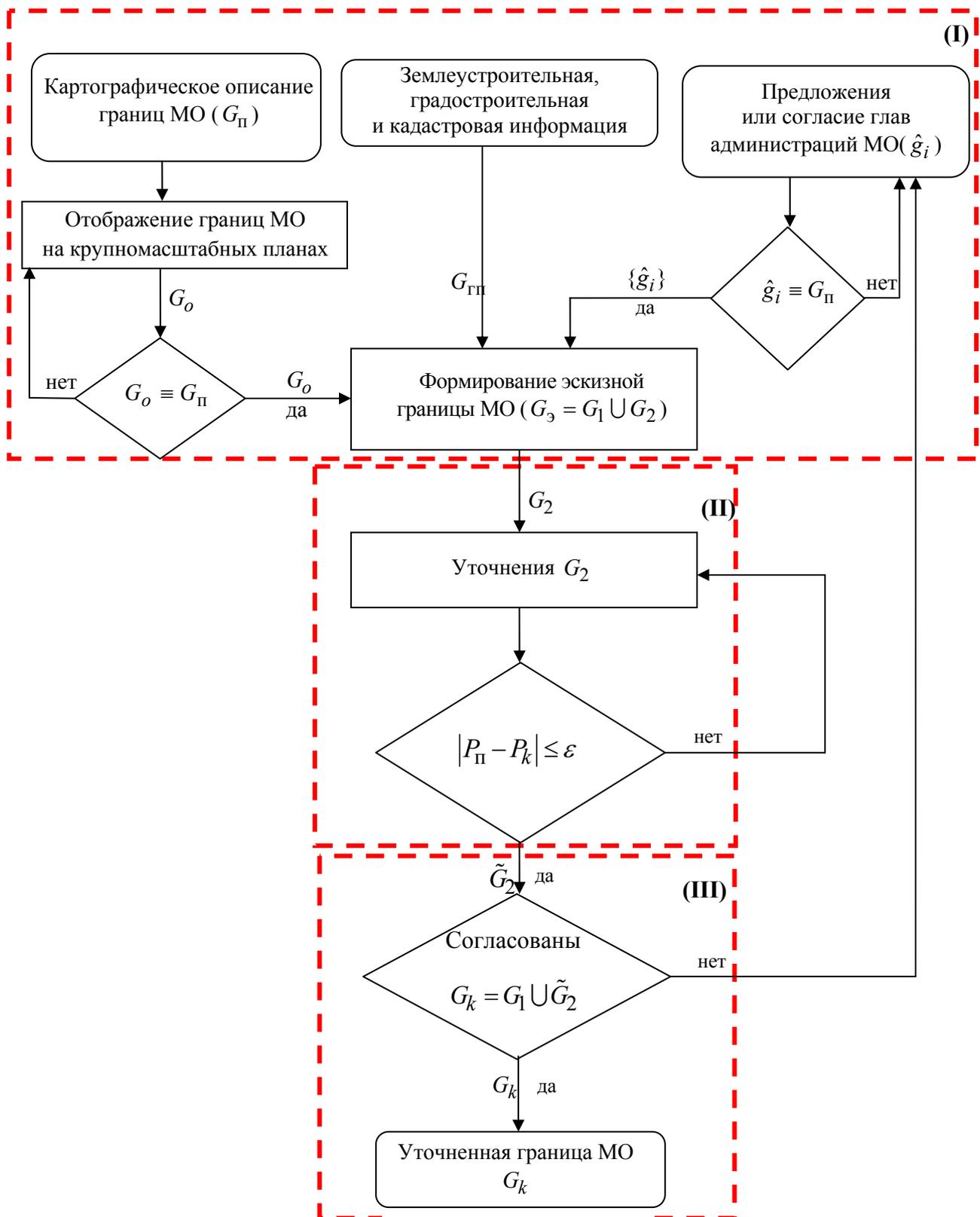


Рис. 3. Блок-схема технического проектирования границ муниципальных образований

Под семантическим проектированием понимается смысловое, содержательное проектирование на основании исходных геопространственных данных основных объектов ИД_с.

Под геометрическим проектированием понимается уточнение площади и местоположения G_3 границ МО.

На этапе семантического проектирования создают проектную границу МО G_o путем отображения картографического описания G_{Π} на крупномасштабных планах с учетом условий первой группы требований.

Также выполняют сбор и систематизацию неоднородных по точности исходных геопространственных данных ИД_с и предложения от глав администраций муниципальных образований $\{\hat{g}_i\}$. Затем основные объекты представляют в виде взвешенного орграфа $G_{\Pi} = (V_{\Pi}, E_{\Pi}, M_{\Pi})$, где V_{Π} – множество вершин (характерных точек границ ИД_с); E_{Π} – множество ребер (границ ИД_с); M_{Π} – множество оценок средней квадратической погрешности положения вершин орграфа.

Модель эскизных границ МО G_3 представляет собой объединение двух подграфов G_1 и G_2 , полученных на разбиении двух множеств ребер R_1 и R_2 , т.е. $G_3 = G_1(V_1, R_1) \cup G_2(V_2, R_2)$, при этом $R_1 \cap R_2 = 0$ и $V_1 \cap V_2 \neq 0$, так как $\exists r_j(v_i, v_j) \in R_2$, где $v_i \in V_1$, а $v_j \in V_2$. Её создают в следующем порядке:

1) подграф G_1 формируют с учетом условий второй группы требований, т.е. подграф G_1 совмещают с соответствующими вершинами и ребрами графа G_{Π} и включают вершины и ребра \hat{g}_i , если их пространственное положение отвечает условиям, представленным в первой и второй группе объединенных требований;

2) подграф G_2 формируют так же в области проектирования границ МО B , но с учетом условий третьей группы требований. При этом вершины V_2 и дуги R_2 совмещают с искусственными (естественными) рубежами и не допускают изломанности контура границ. А также учитывают площадь P_{Π} проектного контура G_{Π} . Разность площади эскизного контура P_3 с проектным значением P_{Π} не должна превышать 30 %.

Все вышерассмотренные действия, а также геометрическое проектирование выполняются в разработанном авторами программном модуле Design Municipality [29].

На этапе геометрического проектирования выполняется уточнение местоположения подграфа G_2 и площади G_3 границ МО в следующем порядке:

1) для каждой i -й вершины подграфа G_2 в поперечном направлении задают m вариантов ее местоположения;

2) в программном модуле по формулам (5–10) определяются уточненные координаты $\tilde{x}_{i,k}$ и $\tilde{y}_{i,k}$. И на основании их формируется контур уточненного подграфа \tilde{G}_2 и границ МО G_k в k -ом приближении;

3) выполняется проверка условия (11), если значение $\geq \varepsilon$, тогда возвращаются к пункту 1 геометрического проектирования. В ином случае техническое проектирование завершается, а проектное решение согласовывают с органами местного самоуправления.

Результаты и обсуждение

Точность рассмотренного алгоритма и методики геометрического проектирования границ МО будет зависеть от следующих факторов:

- величины уклонения эскизной площади от проектной;
- подхода назначения местоположения варианта i -ой вершины подграфа G_2 ;
- количества вершин включенных в итерацию (по каждой отдельной вершине либо по всем вершинам подграфа G_2).

Для определения степени влияния первого фактора вычислительный эксперимент выполнялся в следующем порядке:

- формирование эскизной границы территории с определенным значением уклонения от проектной площади dP (от 0 до 50 % с шагом 5 %);
- формирование вариантов расположения вершин в подграфе G_2 ;
- выполнение приближения.

После выполнения первого приближения определялось уклонение уточненной площади от проектного значения (ds).

Из результатов исследования выявили, что между ds и dP наблюдается прямая тесная корреляционная связь ($r=0,95$). При $dP = 50\%$ ds увеличивается на 0,5 % от проектной площади.

Для определения характера второго и третьего факторов вычислительный эксперимент проводился на пяти моделях территорий МО.

Перед выполнением первой итерации на электронной карте задавались в поперечном направлении контура эскизных границ МО варианты местоположения вершин подграфа G_2 . Здесь придерживались следующих подходов:

- 1) вариант i -ой вершины подграфа G_2 задается произвольно;
- 2) вариант i -ой вершины подграфа G_2 задается на контуре основных объектов $G_{\text{тп}}$.

В дальнейшем для каждого подхода выполняли уточнения границ МО двумя способами:

- по каждой отдельной вершине подграфа G_2 ;
- по всем вершинам подграфа G_2 .

По результатам исследования было выявлено, что подход выбора расположения i -ой вершины подграфа G_2 существенно влияет на количество при-

ближений. Если перед выполнением первой итерации придерживаться второго подхода, то это приводит к сокращению количества приближений в пять или шесть раз.

По всем пяти моделям, где применялся второй подход, количество приближений находилось в интервале 1-2. В большинстве случаев было достаточно одного приближения, чтобы достичь необходимой точности уточнения границ МО.

Проведение итераций по каждой отдельной вершине контура G_2 не приводит к сокращению количества приближений и повышению точности геометрического проектирования. Если итерации проводить по всем вершинам контура G_2 , то это уменьшает время проектирования границ МО.

Таким образом, по результатам исследований можно дать следующие рекомендации для выполнения геометрического проектирования:

- влияние значения уклона площади эскизного контура границы МО от проектного на точность геометрического проектирования несущественно. Но при проектировании рекомендуется устанавливать значение площади эскизного контура в пределах $\pm 30\%$ от проектного значения;

- выбор вариантов местоположения вершин подграфа G_2 в нулевом приближении следует осуществлять в поперечном направлении контура G_3 на границах основных объектов $G_{гп}$.

- уточнение следует выполнять по всем вершинам подграфа G_2 .

С учетом рекомендаций выполнено геометрическое проектирование границ семи муниципальных образований Новосибирской области (три городских округа, три сельсовета и один населенный пункт) в программном модуле Design Municipality. Также по этим муниципальным образованиям выполнено геометрическое проектирование комбинированным способом, где использовались общеизвестные формулы для вычисления площади треугольника и четырехугольника.

Протяженность уточняемых границ МО составляло от 1,1 км до 6,5 км. Количество вершин от 5 до 15 на один километр. Для каждой границы МО задавались следующее количество уточняемых вершин: 1, 2, 3, 5 и 10.

В процессе выполнения геометрического проектирования вели хронометраж, т.е. фиксировали время с момента выбора i -й вершины контура G_2 до получения уточненных границ МО.

В результате сопоставления общего времени, затраченное на геометрическое проектирование границ МО, в программном модуле с комбинированным способом выявили следующее.

Если количество уточняемых вершин в границе МО было меньше или равно трем, то общее время на уточнения границ комбинированным способом и с помощью программного модуля Design Municipality было почти одинаковое и менялось в интервале от 5 до 10 минут.

При количестве уточняемых вершин от пяти и более наблюдалось увеличение времени на проектирование границ при применении комбинированного способа. Это было вызвано большим объемом геопространственных данных, изломанностью границ, а также из-за поиска участка, где можно осуществить уточнения площади и местоположения границ.

При количестве уточняемых вершин пять и более основные результаты исследования по типам муниципальных образований распределились следующим образом:

а) по городским округам: Искитим, Обь, Новосибирск – в среднем на проектирование одного километра границы потребовалось: 10–15 минут (комбинированным способом) и 3–4 минуты (с использованием программного модуля).

б) по сельсоветам: Березовский, Каменский и Толмачевский и населенному пункту Криводановка – в среднем на проектирование одного километра границы затрачено: 5–7 минут (комбинированным способом) и 2–3 минуты (с использованием программного модуля).

Следовательно, программный модуль Design Municipality позволяет освободить проектировщика от трудоемкой работы по обоснованию проектного решения и исключить субъективный фактор.

Заключение

Таким образом, разработанная методика, в том числе программный модуль и алгоритм геометрического проектирования позволяет учесть неоднородность геопространственных данных о границах земельных участков, объектов землеустройства, объектов недвижимости, территориальных зон и муниципальных образований в области проектирования границ МО.

В итоге это позволит минимизировать издержки на разрешения территориальных споров и повысить эффективность принятия управленческих решений.

Следовательно, научная гипотеза работы доказана, т.е. применение технической аппроксимации при проектировании границ муниципальных образований позволяет научно-обосновано устанавливать их на местности и повысить уровень автоматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калюжин, В. А. Подход к усовершенствованию порядка изменения и уточнения границ муниципальных образований [Текст] / В. А. Калюжин, Ф. В. Каравайцев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 1. – С. 47–51.

2. Об утверждении комплексного плана мероприятий по внесению в государственный кадастр недвижимости сведений о границах между субъектами Российской Федерации, границах муниципальных образований и границах населенных пунктов в виде координатного описания [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.11.2015 № 2444-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. О целевых моделях упрощения процедур ведения бизнеса и повышения инвестиционной привлекательности субъектов Российской Федерации» [Электронный ресурс] : распо-

ряжение Правительства Российской Федерации от 31.01.2017 № 147-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Росреестр. Количество сведений о границах муниципальных образований в ЕГРН выросло на 3 % [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rosreestr.ru/site/press/news/kolichestvo-svedeniy-o-granitsakh-munitsipalnykh-obrazovaniy-v-egrn-vyroslo-na-3/>

5. С. Femenia-Ribera, E. Benitez-Aguado, G. Mora-Navarro & J. Martinez-Llario (2014) Method of recovering municipal boundary lines in Province of Valencia (Spain) by means of historical cadastral maps. URL: <http://www.surveyreview.org/Abstract2014.htm>. (дата обращения 30.04.2019)

6. D.Rushworth Mapping in Support of Frontier Arbitration: Delimitation and Demarcation. URL:<https://www.dur.ac.uk/ibru/publications/download/?id=105>. (дата обращения 30.04.2019)

7. R.Perlin Theoretical approaches of methods to delimitate rural and urban areas. URL: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/euco.2010.2.issue-4/v10091-010-0013-5/v10091-010-0013-5.pdf>. (дата обращения 30.04.2019)

8. Vit Paszto, Alzbeta Brychtova, Pavel Tucek, Lukas Marek & Jaroslav Burian (2015) Using a fuzzy inference system to delimit rural and urban municipalities in the Czech republic in 2010/ URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2014.944942> (дата обращения 30.04.2019)

9. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации [Электронный ресурс] : федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

10. Об утверждении порядка описания местоположения границ объектов землеустройства [Электронный ресурс] : приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 03.06.2011 № 267. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Об утверждении Правил установления на местности границ объектов землеустройства [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 20.08.2009 № 688. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

12. О требованиях к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, а также контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке [Электронный ресурс] : приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 01.03.2016 № 90. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

13. Об утверждении формы карты (плана) объекта землеустройства и требований к ее составлению [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2009 № 621. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

14. Неумывакин Ю. К. Земельно-кадастровые геодезические работы / Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский. – М. : КолосС, 2005. – 184 с.

15. Калюжин, В. А. Опыт уточнения границ [Текст] / В. А. Калюжин, Ю. А. Новоселов, Ф. В. Каравайцев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 181–184.

16. Калюжин В. А., Каравайцев Ф. В., Одинцова Н. В. Применение двухстадийного землеустроительного проектирования при описании границ муниципальных образований Новосибирской области // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 4. – С. 151–159.

17. Карпик, К. А. Разработка и исследование методики землеустроительных работ по описанию границ муниципальных образований [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / К. А. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 119 с.

18. Руководство пользователя «АКТ». URL : <http://akt-mp.ru>. (дата обращения: 15.04.2019).

19. Руководство пользователя «АРГО». URL: <http://new.argogeo.ru> (дата обращения: 15.04.2019).
20. Руководство пользователя «АРМ КИН». URL : <http://www.geocad.ru> (дата обращения: 15.04.2019)
21. Руководство пользователя «Зем. дело 8.1».URL: <http://www.zemdelo.ru> (дата обращения: 15.04.2019).
22. Руководство пользователя «Полигон: Межевой план». URL: <http://pbprog.ru> (дата обращения: 15.04.2019).
23. Руководство пользователя «ПроГео». URL : <http://servis21.ru> (дата обращения: 15.04.2019).
24. Калюжин, В. А. Формализация уточнения границ муниципальных образований / В. А. Калюжин, А. В. Дубровский, Ф. В. Каравайцев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 179–181.
25. Волков, С. Н. Землеустройство. В 9 т. Т. 2. Землеустроительное проектирование. Внутрихозяйственное землеустройство [Текст] / С. Н. Волков. – М. : КолосС, 2001. – 648 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений).
26. Голубинский А.Н. Методы аппроксимации экспериментальных данных и построение моделей Вестник Воронежского института МВД России. 2007. № 2. С. 138-143. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-approksimatsii-eksperimentalnyh-dannyh-i-postroyeniya-modeley>.pdf (дата обращения: 15.04.2019).
27. Малов, А. А. Уточнение метода Кригинга для исследования геопервоверхностей / А. А. Малов, И. И. Максимов // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 12. – С. 97–97.
28. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ.- М.: Ради и связь, 1992. – 504 с.
29. Каравайцев, Ф. В. Способ проектирования границ муниципальных образований в неоднородном геопространстве [Текст] / Ф. В. Каравайцев // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 178–191.

© В. А. Калюжин, Ф. В. Каравайцев, В. Н. Щукина, 2019