

УДК 528.44

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДАХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РФ

Аврунев Евгений Ильич¹,

avrynev_ei@ngs.ru

Чернов Александр Викторович¹,

kadastr-204@yandex.ru

Дубровский Алексей Викторович¹,

kadastr-204@yandex.ru

Комиссаров Александр Владимирович¹,

kadastr-204@yandex.ru

Пасечник Елена Юрьевна²,

paseyu@yandex.ru

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания в городах, характеризующихся сложной многоуровневой структурой инженерных сооружений, 3D кадастра недвижимости. В настоящее время разработка оптимальной структуры кадастра недвижимости, его унификация и возможность использования не только для целей регулирования земельно-имущественных отношений, но и для решения других важнейших научно-технических задач является направлением развития геодезической и кадастровой науки.

Цель исследования: предложить алгоритм по формированию 3D-модели, которая необходима для построения 3D кадастра в городах, особенно в арктическом регионе, поскольку здания и инженерные сооружения, расположенные на вечной мерзлоте, могут подвергаться существенным осадкам и деформациям, которые определяют вероятность возникновения предельно-напряженного состояния конструкции.

Объект: модель инженерного сооружения.

Методы: математическое моделирование.

Результаты. Предложено для конкретного инженерного сооружения, испытывающего значительные осадки и деформации, в том числе в условиях арктического региона, дополнительно создавать деформационный паспорт и полученную в результате этой технологической процедуры кадастровую информацию вносить в соответствующие разделы единого государственного реестра недвижимости. Обоснованы условия, определяющие необходимость создания локальной 3D-модели инженерного сооружения. Предложены критерии, позволяющие выбрать оптимальную систему координат и структуру построения локальной 3D-модели, в которую может включаться деформационный паспорт объекта. Получены уравнения, позволяющие вычислять необходимую точность геодезических измерений, исходя из установленных нормативно средних квадратических ошибок элементов 3D-модели инженерного сооружения. Разработан математический алгоритм, на основании которого можно рассчитывать необходимую точность геодезических измерений исходя из предложенных точностных параметров для построения 3D-модели инженерного сооружения.

Ключевые слова:

3D-кадастр, 3D-модель, средняя квадратическая ошибка (СКО), измерительное технологическое оборудование, инженерное сооружение, помещение.

Введение

Эффективное развитие экономики Российской Федерации, особенно в городах Арктического региона, невозможно без создания научно-обоснованной налогооблагаемой базы, основой которой служит единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) основным разделом которого является кадастр недвижимости. Поэтому разработка оптимальной структуры кадастра недвижимости, его унификация и возможность использования не только для целей регулирования земельно-имущественных отношений, но и для решения других

важнейших научно-технических задач является направлением развития геодезической и кадастровой науки в настоящее время. Неслучайно данной проблематике посвящено значительное число работ ведущих российских и зарубежных ученых [1–20].

Решение этой глобальной научно-технической задачи наиболее эффективно выполнять с использованием методики построения 3D-моделей объектов капитального строительства (ОКС) [4], однако сплошное трехмерное лазерное сканирование или использование традиционных измерительных тех-

нологий (электронный безотражательный тахеометр) для создания пространственных моделей городских территорий сопряжено со значительными финансовыми затратами, поэтому в ряде случаев может быть неэффективным и экономически не обоснованным. Кроме этого, в научно-технической литературе, к сожалению, остается не исследованным вопрос о назначении точности геодезических измерений при построении 3D-моделей инженерных сооружений.

Другим важным аспектом решения этой научно-технической задачи, особенно для городов, расположенных в арктическом регионе на вечной мерзлоте, является создание деформационного паспорта инженерного сооружения. Это обусловлено тем обстоятельством, что в условиях сезонных колебаний температур фундамент и расположенное на нем инженерное сооружение может испытывать значительные осадки и деформации, которые приводят к предельно напряженному состоянию конструкции и существенному снижению комфортности его эксплуатации. Это обуславливает целесообразность и необходимость корректировки кадастровой стоимости.

Вместе с этим и в условиях ограниченного финансирования деформационный паспорт для всех зданий и сооружений на все территориальное образование создавать экономически нецелесообразно. Поэтому мы предлагаем данную технологическую процедуру выполнять только в том случае, когда величина деформации инженерного сооружения находится в пределах 10 % от предельно напряженного состояния конструкции, которое устанавливается соответствующими строительными нормативно-правовыми документами. Следовательно, критерий K_1 , определяющий необходимость составления деформационного паспорта, будет выглядеть следующим образом

$$K_1 = t\Delta = 0,1\Delta. \quad (1)$$

Сформулируем основные требования, обуславливающие необходимость построения 3D-модели инженерного сооружения, расположенного в территориальном образовании, для которого планируется в перспективе сплошное 3D моделирование для создания 3D кадастра:

- 1) высокая кадастровая стоимость объекта капитального строительства;
- 2) наличие большого числа правообладателей недвижимого имущества, расположенного в инженерном сооружении;
- 3) большая вероятность возникновения значительных деформаций, обуславливающих необходимость корректирования кадастровой стоимости и проведения эксплуатационными службами соответствующих профилактических мероприятий.

Построение 3D-модели инженерного сооружения при пространственном моделировании территориального образования или при моделировании только этого объекта целесообразно, на наш

взгляд, представить в виде совокупности следующих технологических операций:

- 1) установление системы координат для построения 3D-модели инженерного сооружения;
- 2) координирование относительно исходных пунктов опорной межевой сети (ОМС) характерных точек, определяющих контур инженерного сооружения в принятой координатной системе;
- 3) выбор измерительного технологического оборудования для построения 3D-модели, определяющей внешний контур инженерного сооружения;
- 4) координирование помещений, определяющих внутреннее содержание внешней модели с выбором соответствующего измерительного технологического оборудования;
- 5) построение 3D-модели инженерного сооружения в виде совокупности отдельных проекции каждого этажа на горизонтальную плоскость;
- 6) при необходимости создания в 3D-модели деформационного паспорта повторение через научно-установленный интервал времени координирования характерных точек инженерного сооружения и построения векторов деформаций блоков инженерного сооружения с внесением этих характеристик в деформационный паспорт объекта и соответствующие разделы ЕГРН.

Установление системы координат для построения 3D-модели сооружения целесообразно выполнять исходя из соответствия проектных или фактических размеров инженерного сооружения ($\alpha_{\text{проект}}$) своим значениям в принятом координатном пространстве $\alpha_{\text{ред}}$. Исходя из этого положения, установим критерий для выбора оптимальной системы координат в следующем виде

$$K_2 = t\Delta = 0,1(\alpha_{\text{проект}} - \alpha_{\text{ред}}). \quad (2)$$

При невыполнении этого условия возникнет систематическое расхождение между проектными размерами сооружения и его размерами в координатном пространстве. Данное обстоятельство не позволит использовать результаты координирования для составления технического плана и определения реальных характеристик для внесения в деформационный паспорт объекта.

Важнейшим технологическим аспектом выполнения геодезических измерений для создания 3D-модели является выбор соответствующего измерительного технологического оборудования для координирования характерных точек, определяющих внешнюю модель инженерного сооружения.

Установим нормативную точность определения координат характерных точек инженерного сооружения. Если в основу этого критерия положить нормативное требование к точности координирования характерных точек при выполнении кадастровых работ для ведения ЕГРН и создания исходной основы для восстановления характерных точек, определяющих границы земельного участка,

то в соответствии с предложениями, озвученными в работе [3], в качестве такого критерия целесообразно использовать $m_{ХТ}=7,5$ см.

Следовательно, выбор соответствующего измерительного технологического оборудования $m_{изм}$ при координировании инженерного сооружения целесообразно осуществлять исходя из установленного критерия по алгоритму, предложенному в работе [1].

$$m_{ХТ}^2 = m_{го}^2 + m_{изм}^2, \quad m_{изм}^2 = m_{ХТ}^2 - m_{го}^2 = 5,6 \text{ см},$$

где $m_{го}$ – средняя квадратическая ошибка (СКО) взаимного положения пунктов ОМС внутри кадастрового квартала, которая в соответствии с работой [3] принимается равной 5 см.

В предположении, что при координировании будет использоваться безотражательный электронный тахеометр в варианте применения способа полярных координат (наиболее, в настоящее время, распространенная схема использования измерительного технологического оборудования)

$$m_{изм}^2 = m_L^2 + \frac{m_\beta^2}{p^2} L^2,$$

где m_β , m_L – соответственно инструментальная точность измерительного оборудования; L – максимальная длина линии от пункта ОМС до характерной точки сооружения.

Применяя к этому выражению принцип равногo влияния и подставляя предвычисленное значение $m_{изм}$, получим

$$m_L = \frac{m_\beta}{p} L = \frac{m_{изм}}{\sqrt{2}}, \quad m_L = \frac{5,6}{\sqrt{2}} = 4,0 \text{ см},$$

$$m_\beta = \frac{5,6p}{\sqrt{2}L} = 4,0 \frac{p}{L}. \quad (3)$$

В том случае, когда геодезические измерения необходимо выполнять для составления деформационного паспорта объекта в качестве $m_{изм}$, необходимо использовать критерий, непосредственно связанный с нормативно-установленным предельно-напряженным состоянием конструкции инженерного сооружения (1). Тогда уравнение (3), определяющее требования к инструментальной точности измерительного технологического оборудования, переписывается в следующем виде

$$m_L = \frac{0,1 \cdot 0,1\Delta}{\sqrt{2}} = 0,02\Delta, \quad m_\beta = \frac{0,1 \cdot 0,1\Delta p}{\sqrt{2}L}.$$

При координировании внутренних помещений инженерного сооружения в настоящее время отсутствует единый методический подход, определяющий соответствие между исполнительной съемкой, которая должна выполняться для определения качества строительно-монтажных работ, и обеспечением наполнения 3D-модели инженерного сооружения внутренним содержанием. В этом варианте точность координирования должна соответствовать точности геодезических измерений, выполняемых при определении внешней модели объекта.

При принятии гипотезы о правильной геометрической фигуре, образованной стенами помещения (квадрат или прямоугольник), площадь вычисляется по элементарным геометрическим формулам

$$P = ab.$$

Продифференцировав формулу по двум переменным и считая их независимыми величинами, получим уравнение для вычисления СКО площади прямоугольника

$$m_p^2 = a^2 m_b^2 + b^2 m_a^2.$$

Установим нормативное значение точности определения в зависимости от площади геометрической фигуры. Для этого воспользуемся уже принятым значением коэффициента $t=0,1$, такое значение соответствует «критерию ничтожного влияния» и, по нашему мнению, является оптимальной величиной, определяющей соотношение между качеством выполняемой работы и трудозатратами на ее реализацию.

Принимая гипотезу о равнозначности измерений и подставляя вместо m_p принятое нормативное значение, получаем следующую формулу для вычисления необходимой точности измерений

$$\Delta_p^2 = a^2 m_b^2 + b^2 m_a^2 = m_L^2 (a^2 + b^2) m_L =$$

$$= \frac{\Delta_p}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{0,10 p}{\sqrt{a^2 + b^2}}. \quad (4)$$

Более сложная ситуация возникает в варианте, когда гипотезу о правильной геометрической фигуре помещения принять нельзя. Это имеет место при исполнительной съемке, когда качество строительства подвергается тщательному контролю или когда в соответствии с проектом помещение имеет произвольную конфигурацию. Для этого варианта площадные и геометрические характеристики целесообразно определять в результате координирования по способу свободной станции в соответствии со схемой, изображенной на рис. 1.

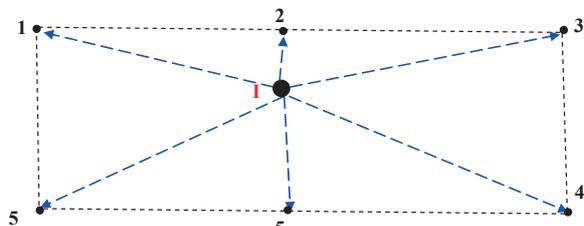


Рис. 1. Схема координирования помещения произвольной конфигурации

Fig. 1. Diagram of coordinating a room with optional configuration

Если с одной точки стояния тахеометра нет видимости на все определяемые характерные точки, предлагается использовать следующую схему (рис. 2).

Для представленных схем координирования площадь помещения вычисляется по следующей известной аналитической формуле:

$$2P = \sum_1^n (Y_{I+1} - Y_{I-1}) X_I,$$

а точность ее вычисления в соответствии со следующим уравнением

$$m_p = \frac{\mu}{2} \sqrt{\sum_{I=1}^n (Y_{-(I+1)} - Y_{-(I-1)})^2 Q_{X_I} + \sum_I^n X_I^2 (Q_{Y_{I+1}} + Q_{Y_{I-1}} - 2Q_{Y_{I+1}Y_{I-1}})},$$

где X_I, Y_I – координаты характерной точки помещения; i – текущий номер характерной точки; n – число характерных точек; Q_{X_i}, Q_{Y_i} , – диагональные элементы матрицы весовых коэффициентов, характеризующие точность определения координат характерных точек; μ – СКО единицы веса, принимаемая равной точности угловых измерений при координировании.

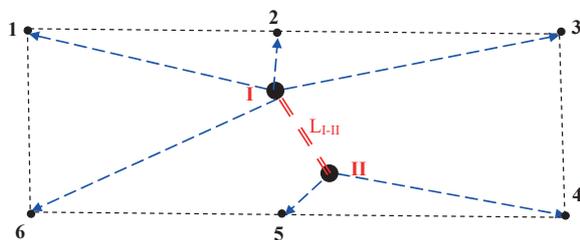


Рис. 2. Схема координирования помещения произвольной конфигурации с двух точек установки тахеометра

Fig. 2. Diagram of coordinating a room with optional configuration from tacheometer two points

Установим СКО определения площади как нормативно заданное значение и, выразив в этом уравнении неизвестное значение μ , получим

$$\mu = \frac{2 \cdot 0,1P}{\sqrt{\sum_{I=1}^n (Y_{-(I+1)} - Y_{-(I-1)})^2 Q_{X_I} + \sum_I^n X_I^2 (Q_{Y_{I+1}} + Q_{Y_{I-1}} - 2Q_{Y_{I+1}Y_{I-1}})}}.$$

Представим СКО характерной точки в виде известной формулы и, принимая гипотезу о равенстве ошибок по осям координат и их независимости между собой, тогда имеем

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{\mu^2 Q_x + \mu^2 Q_y} = \mu \sqrt{Q_x + Q_y} = \mu \sqrt{2} \sqrt{Q}.$$

Учтем, что при координировании помещений произвольной конфигурации наиболее оптималь-

ным является способ полярных координат (формула 2 для вычисления СКО), и получим следующее уравнение

$$m^2 = m_L^2 + \frac{m_\beta^2}{p^2} L^2 = 2\mu^2 Q. \quad (5)$$

Применяя к уравнению (5) принцип равного влияния и выражая неизвестный весовой коэффициент с учетом условия $\mu = m_\beta$, получим

$$m_L = \frac{m_\beta}{p} L = \mu \sqrt{Q} = m_\beta \sqrt{Q}. \quad Q = \frac{P^2}{L^2}.$$

Подставив полученное значение для Q в формулу (4), получим окончательное уравнение для вычисления необходимой точности измерительного технологического оборудования при координировании помещения произвольной формы.

$$\mu = m_\beta = m_L = \frac{0,2P}{\sqrt{\frac{P^2}{L^2}}} \left(\sum_{I=1}^n (Y_{I+1} - Y_{I-1}) + 2 \sum_1^n X_I^2 \right).$$

Построение 3D-модели инженерного сооружения в виде совокупности отдельных проекции каждого этажа на горизонтальную плоскость целесообразно выполнять с использованием проектных размеров (толщины стен, высоты междуэтажных перекрытий, размеров лестничных пролетов и т. д.).

Заключение

Основные результаты выполненных научных исследований заключаются в следующем:

- 1) обоснованы и сформулированы основные принципы формирования 3D-модели инженерного сооружения, которая необходима для создания 3D кадастра на соответствующее территориальное образование;
- 2) предложен критерий K_1 , на основании которого определяется необходимость при построении 3D-модели инженерного сооружения создавать деформационный паспорт объекта;
- 3) предложен критерий K_2 , на основании которого устанавливаются требования к выбору системы координат для составления 3D-модели инженерного сооружения;
- 4) разработан математический алгоритм, на основании которого можно рассчитывать необходимую точность геодезических измерений исходя из предложенных точностных параметров для построения 3D-модели инженерного сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврунев Е.И. Геодезическое обеспечение государственного кадастра недвижимости: монография. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 144 с.
2. Аврунев Е.И., Карпик К.А. Оценка точности геодезических сетей для целей государственного кадастра недвижимости // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 5. – С. 94–99.
3. Аврунев Е.И., Метелева М.В. Предложения по восстановлению границ земельных участков при их восстановлении или несанкционированном нарушении // ИнтерЭкспо ГЕО-СИБИРЬ-2015. Т. 3. Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования. Землеустройство, Лесостроительство, Управление недвижимостью. – Новосибирск, 2015. – С. 98–106.

4. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография / отв. ред. Д.В. Лисицкий. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 259 с.
5. Карпик А.П. Структурно-функциональная модель геодезической пространственной информационной системы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 6. – С. 140–148.
6. Карпик А.П. Информационное обеспечение геодезической пространственной информационной системы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 70–73.
7. Карпик А.П. Основные принципы формирования геодезического информационного пространства // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 73–78.
8. Карпик А.П. Разработка методики качественной и количественной оценки кадастровой информации // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 137–142.
9. Карпик А.П. Применение сведений государственного кадастра недвижимости для решения задач территориального планирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 112–117.
10. Чернов А.В. Трехмерный кадастр – основной вектор развития успешной кадастровой системы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016: XII Междунар. науч. конгр.: Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью: Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 3 т. Т. 2. – Новосибирск, 18–22 апреля 2016. – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. – С. 81–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/trehmernyy-kadastr-osnovnoy-vektor-razvitiya-uspeshnoy-kadastrvoy-sistemy> (дата обращения: 10.10.2017)
11. Initial Analysis of the Second FIG 3D Cadastres Questionnaire: Status in 2014 and Expectations for 2018 / P. van Oosterom, J. Stoter, H. Ploeger, Ch. Lemmen, R. Thompson, S. Karki // 4th International Workshop on 3D Cadastres. – Dubai, United Arab Emirates, 9–11 November 2014. – P. 55–74. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_14.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
12. Pouliot J., Vasseur M. Terrestrial LiDAR Capabilities for 3D Data Acquisition (Indoor and Outdoor) in the Context of Cadastral Modelling: a Comparative Analysis for Apartment Units // 4th International Workshop on 3D Cadastres. – Dubai, United Arab Emirates, 9–11 November 2014. – P. 99–107. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_17.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
13. Paulsson J. Swedish 3D Property in an International Comparison // 3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices. – Shenzhen, China, 25–26 October 2012. – P. 23–39. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2012_32.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
14. 3D Cadastral Data Model Based on Conformal Geometry Algebra / Ji-yi Zhang, Peng-cheng Yin, Gang Li, He-he Gu, Hua Zhao and Jian-chun Fu // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2016. – V. 5. – 16 p. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_00.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
15. A Conceptual Model Supporting a Range of 3D Parcel Representations through all Stages: Data Capture, Transfer and Storage / R. Thompson, P. van Oosterom, K. Soon, R. Priebbenow // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2–6, 2016. – 23 p. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_02.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
16. André M., Seipel S., Milutinovic G. Virtual 3D Models as a Basis for Property Formation. FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2–6, 2016. – 9 p. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_04.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
17. Construction of Geometric Model and Topology for 3d Cadastre – case Study in Taizhou, Jiangsu / Yuan Ding, Changbin Wu, Nan Jiang, Bingqing Ma, Xinxin Zhou, China // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2–6, 2016, 17 p. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_06.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
18. Thompson R.J., Van Oosterom P., Soon K.H. Mixed 2D and 3D Survey Plans with Topological Encoding // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2–6, 2016 – P. 133–152. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_17.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
19. First 3D Cadastral Registration of Multi-level Ownerships Rights in the Netherlands / J. Stoter, H. Ploeger, R. Roes, E. van der Riet, F. Biljecki, H. Ledoux // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2–6, 2016. – P. 491–504. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_37.pdf (дата обращения: 10.10.2017).
20. Попов В.К., Козина М.В. Экологизация кадастровой оценки земель для устойчивого развития урбанизированных территорий // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 11. – С. 98–105.

Поступила 31.01.2018 г.

Информация об авторах

Аврунев Е.И., кандидат технических наук, заведующий кафедрой кадастра и территориального планирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Чернов А.В., ассистент кафедры кадастра и территориального планирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Дубровский А.В., кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и территориального планирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Комиссаров А.В., доктор технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Пасечник Е.Ю., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и землеустройства Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 528.44

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTING 3D-MODEL OF ENGINEERING STRUCTURES IN THE CITIES OF THE RF ARCTIC REGION

Evgeny I. Avrunev¹,

avrynevei@ngs.ru

Aleksandr V. Chernov¹,

kadastr-204@yandex.ru

Aleksey V. Dubrovsky¹,

kadastr-204@yandex.ru

Aleksandr V. Komissarov¹,

kadastr-204@yandex.ru

Elena Yu. Pasechnik²,

paseyu@yandex.ru

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies,
10, Plakhotny street, Novosibirsk, 630108, Russia.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is caused by the necessity to develop 3D cadastral register in the cities with complex multilevel structure of engendering constructions. Currently, the development of optimal structure of the cadastral register, its standardization and opportunity of being used not only to control land-property relations but to solve the other important scientific and engineering issues as well, is the direction in development of geodesic and cadastral science. **The aim** of the research is to propose the algorithm for forming 3D-model required to construct 3D land cadaster in the cities, especially for those located in the arctic region, as the buildings and engineering constructions in the permafrost zone may suffer from sufficient sediments and deformations, which determine the probability of occurrence of construction limit stress state.

Subject of the research: the engineering structure model.

Methods: mathematical modeling.

Results. The authors have proposed to develop additionally the deformation certificate for a certain engineering construction, suffering from sufficient sediments and deformation, including the constructions being in the permafrost zone. They proposed as well the cadastral information obtained to put into appropriate sections of the Unified State Register of Immovable Property. The conditions determining the necessity of developing the local 3D model of engineering constructions were proved. The paper introduces the criteria which allow selecting the optimal coordinate system and structure for constructing the local 3D model, which may include the deformation certificate of the object. The authors derived the equations for calculating the required accuracy in geodesic measurements owing to the prescribed root-mean-square errors of the 3D model elements of the engineering construction. The mathematical algorithm was developed. Based on the algorithm one can calculate the required accuracy of geodesic measurements owing to the proposed accuracy parameters for constructing 3D model of engineering structure.

Key words:

3D land cadaster, 3D-model, root-mean-square, measuring processing equipment, engineering construction, room.

REFERENCES

1. Avrunev E.I. *Geodezicheskoe obespechenie gosudarstvennogo kadastra nedvizhimosti: monografiya* [Geodetic support of the state land cadaster: monography]. Novosibirsk, SGGa Publ., 2010. 144 p.
2. Avrunev E.I., Karpik K.A. Estimation of accuracy of geodetic networks for State cadastral register. *Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2011, no. 5, pp. 94–99. In Rus.
3. Avrunev E.I., Meteleva M.V. Predlozheniya po vosstanovleniyu granits zemelnykh uchastkov pri ikh vosstanovlenii ili nesanktsionirovannom narushenii [Proposals to reestablish the borders of land plots at their reset or illegal violation]. *InterEkspo GEO-Sibir-2015. T. 3. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dalnego Vostoka. Ekonomika prirodopolzovaniya. Zemleustroystvo, lesoustroystvo, upravlenie nedvizhimostyu* [InterExpo Geo-Siberia-2015. V. 3. Economic development of Siberia and Far East. Environmental
4. Karpik A.P. *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya: monografiya* [Methodological and engineering bases of geoinformation support: monography]. Ed. by D.V. Lisitsky. Novosibirsk, SGGa Publ., 2004. 259 p.
5. Karpik A.P. Structural-functional model of geodesic space information system. *Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2004, no. 6, pp. 140–148. In Rus.
6. Karpik A.P. Information support of geodesic space information system. *Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2013, no. 4, pp. 70–73. In Rus.
7. Karpik A.P. Key principles of forming geodesic information space. *Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2013, no. 4, pp. 73–78. In Rus.
8. Karpik A.P. Development of the technique of qualitative and quantitative estimation of cadastral information. *Scientific journal*

- nal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2013, no. 4, pp. 137–142. In Rus.
9. Karpik A.P. Application of data on national cadaster for solving the issues of space planning. *Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 2013, no. 6, pp. 112–117. In Rus.
 10. Chernov A.V. Trekhmerny kadastr – osnovnoy vektor razvitiya uspeshnoy kadastrvoy sistemy [3D cadastre is the main vector for efficient cadastre system development]. *InterEkspo GEO-Sibir-2016. T. 3. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dalnego Vostoka. Ekonomika prirodopolzovaniya. Zemleustroystvo, lesoustroystvo, upravlenie nedvizhimostyu* [InterExpo Geo-Siberia-2016. Vol. 3. Economic development of Siberia and Far East. Environmental economics. Land, forest and property management]. Novosibirsk, 2016. pp. 81–87. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/trehmernyy-kadastr-osnovnoy-vektor-razvitiya-uspeshnoy-kadastrvoy-sistemy> (accessed 10 October 2017).
 11. Van Oosterom P., Stoter J., Ploeger H., Lemmen Ch., Thompson R., Karki S. Initial Analysis of the Second FIG 3D Cadastres Questionnaire: Status in 2014 and Expectations for 2018. *4th International Workshop on 3D Cadastres*. Dubai, United Arab Emirates, 9–11 November 2014. pp. 55–74. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_14.pdf (accessed 10 October 2017).
 12. Pouliot J., Vasseur M. Terrestrial LiDAR Capabilities for 3D Data Acquisition (Indoor and Outdoor) in the Context of Cadastral Modelling: a Comparative Analysis for Apartment Units. *4th International Workshop on 3D Cadastres*. Dubai, United Arab Emirates, 9–11 November 2014. pp. 99–107. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2014_17.pdf (accessed 10 October 2017).
 13. Paulsson J. Swedish 3D Property in an International Comparison. *3rd International Workshop on 3D Cadastres: Developments and Practices*. Shenzhen, China, 25–26 October 2012. pp. 23–39. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2012_32.pdf (accessed 10 November 2017).
 14. Ji-yi Zhang, Peng-cheng Yin, Gang Li, He-he Gu, Hua Zhao, Jian-chun Fu. 3D Cadastral Data Model Based on Conformal Geometry Algebra. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2016, vol. 5, 16 p. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_00.pdf (accessed 10 October 2017).
 15. Thompson R., Van Oosterom P., Soon K., Priebsenow R. A Conceptual Model Supporting a Range of 3D Parcel Representations through all Stages: Data Capture, Transfer and Storage. *FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch*. New Zealand, May 2–6, 2016. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_02.pdf (accessed 10 October 2017).
 16. André M., Seipel S., Milutinovic G. Virtual 3D Models as a Basis for Property Formation. *FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch*. New Zealand, May 2–6, 2016. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_04.pdf (accessed 10 October 2017).
 17. Yuan Ding, Changbin Wu, Nan Jiang, Bingqing Ma, Xinxin Zhou, China Construction of Geometric Model and Topology for 3d Cadastre – case Study in Taizhou, Jiangsu. *FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch*. New Zealand, May 2–6, 2016. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_06.pdf (accessed 10 November 2017).
 18. Thompson R.J., Van Oosterom P., Soon K.H. Mixed 2D and 3D Survey Plans with Topological Encoding. *FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch*. New Zealand, May 2–6, 2016. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_17.pdf (accessed 10 October 2017).
 19. Stoter J., Ploeger H., Roes R., Van der Riet E., Biljecki F., Ledoux H. First 3D Cadastral Registration of Multi-level Ownerships Rights in the Netherlands. *FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch*. New Zealand, May 2–6, 2016. Available at: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_37.pdf (accessed 10 October 2017).
 20. Popov V.K., Kozina M.V. Ecologization of cadastral valuation of lands for sustainable development of urbanized lands. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2015, vol. 326, no. 11, pp. 98–105.

Received: 31 January 2018.

Information about the authors

Evgeny I. Avrunev, Cand. Sc., head of the department, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Aleksandr V. Chernov, teaching assistant, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Aleksey V. Dubrovsky, Cand. Sc., associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Aleksandr V. Komissarov, Dr. Sc., associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Elena Yu. Pasechnik, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.