

## Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 528–94

### ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Шуршили<sup>1</sup> Е.А., Олехнович<sup>2</sup> Я.А.

ФГАОУ ВО «Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого»,  
 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, shurshilin.ea@edu.spbstu.ru  
 E-mail: <sup>1</sup>shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olehnovich\_yaa@spbstu.ru

**Аннотация:** Геоинформационные системы (ГИС) имеют широкий спектр применения во всех областях человеческой деятельности. Они позволяют существенно упростить решение различных задач, которые требуют учета реальных условий местности или базируются на ней. Особо перспективным является применение ГИС в различных областях строительства. Современное понимание их применения в строительстве заключается, в целом, в упрощении планирования и логистики строительного процесса, однако существует и другие более перспективные области применения ГИС: такие как, например, их интеграция с BIM-технологиями. Помимо строительства, геоинформационные системы могут быть применены во многих областях человеческой деятельности: от территориально-административного управления до сельского хозяйства и экологии. Не менее важным для понимания возможностей применения ГИС является структурный анализ их организации, характеристика принципов, лежащих в основе геоинформационных систем. В данной статье анализируется потенциал применения геоинформационных систем в строительстве и других сферах деятельности человека, определяется спектр практических задач, решение которых значительно упрощается с применением геоинформационных систем, рассматривается структура и организация геоинформационных систем, важнейшие принципы их функционирования и построения, даются практические примеры организации геоинформационных систем, подробно истолковываются решения практических задач строительства с применением ГИС. Проблема исследования данной статьи – необходимость изучения и анализа потенциала применения ГИС в строительстве, выявлении наиболее перспективных областей их интеграции в процесс строительства для более четкого понимания их эффективности на всех этапах строительного процесса и популяризации их внедрения в работу различных компаний и корпораций, работающих в этой сфере.

**Предмет исследования:** геоинформационные системы и эффективность их применения в строительстве, погрешность снятия координат точек геоинформационной системы.

**Материалы и методы:** анализ научной литературы, анализ и описание применения ГИС в строительстве, математический анализ погрешностей снятия точек.

**Результаты:** рассмотрен и проанализирован спектр задач строительства, решение которых упрощается применением геоинформационных систем, рассмотрено применение ГИС в других областях человеческой деятельности, в результате чего доказана актуальность применения геоинформационных систем и необходимость их применения в строительстве. Проанализирована структура и организация геоинформационных систем, обозначены важнейшие принципы их построения, дан наглядный пример структуры геоинформационной системы. Рассмотрен вопрос неточностей геоинформационных систем, проанализирована погрешность снятия координат точек при формировании ГИС, выведена формула коэффициента поправки снятия координат точек.

**Выводы:** геоинформационные системы могут применяться на всех этапах строительного процесса (от выбора участка застройки до введения его в эксплуатацию) и потому необходимо их повсеместное внедрение и популяризация среди компаний и корпораций, занимающихся строительством зданий и сооружений. ГИС могут содержать неточности и различные погрешности, основными из которых являются погрешности при снятии координат точек. В данном исследовании были проанализированы эти погрешности и выведены соответствующие им коэффициенты поправки.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы, строительство, организация строительства, BIM, погрешность измерения, случайные погрешности.

### ВВЕДЕНИЕ

Уже сейчас применение геоинформационных систем находит свое применение в различных областях строительства и распространено среди наиболее передовых международных строительных компаний. Тем не менее, среди российских компаний геоинформационные системы за частую применяются лишь на подготовительных этапах строительства. Из чего следует, что существует **проблема** непонимания всего потенциала применения ГИС на российском рынке строительства. Потому одной из целей данной статьи является анализ этого потенциала, оценка спектра задач строительства, решение которых возможно существенно облегчить и оптимизировать с помощью геоинформационных систем.

Кроме того, не менее важным вопросом является оценка неточностей и погрешностей, возникающих в процессе формирования ГИС. Основным источником этих погрешностей является определение координат точек по данным спутников и/или геодезических работ. Для более эффективного противодействия этим неточностям необходимо решить проблему оценки погрешностей, возникающих при снятии координат точек.

Таким образом, основными целями статьи являются анализ потенциала применения ГИС в строительстве и оценка погрешностей снятия координат точек при формировании ГИС.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время среди публикаций о геоинформационных системах наиболее распространены исследования, связанные с рассмотрением вопросов их практического применения в различных сферах (экология, административное управление, природоохрана и др.). Авторы дают классификацию и определение геоинформационным системам, обосновывают их применение и актуальность в различных областях строительства.

Однако очень мало внимания уделяется вопросу анализа погрешностей и различных неточностей, возникающих в процессе формирования геоинформационных систем. Потому научная ценность существующих публикаций для данного исследования заключается в анализе общей информации о ГИС (понятия, классификация и т. д.) и спектре задач строительства, в решении которых могут быть задействованы геоинформационные системы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первом этапе исследования произведен анализ существующей научной литературы по теме геоинформационных систем, в результате чего были определены основные направления применения ГИС в строительстве, дана классификация геоинформационных систем, рассмотрена их структура, организация и важнейшие принципы их построения, дан пример послойной организации основы геоинформационной системы.

Во втором этапе исследования рассматривается вопрос неточностей и погрешностей, связанных с определением координат точек местностей на этапе формирования геоинформационной системы. На основе доказанных научных фактов теории вероятностей производится расчет случайной погрешности, возникающей при снятии координат точек по данным спутников и/или по средствам геодезических работ.



Рис. 1. Схема классификации ГИС. [1]

Fig. 1. GIS classification scheme.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Геоинформационные системы (ГИС) – это специальные компьютерные, информационные системы для обработки географической информации и отображении её в различной форме. [1] Существуют различные виды ГИС, разработанные для решения различного вида прикладных задач. Схема классификации ГИС представлена на рис. 1.

Используя геоинформационные системы, можно решать целый комплекс прикладных строительных задач: от выбора места строительства здания или сооружения до его мониторинга и обследования. Однако следует отметить, что внедрение ГИС в широкое использование в строительном процессе

(или любом другом) требует решения целого ряда задач различной сложности. Так, предприятие может без особых затруднений закупить необходимое для использования ГИС программное и аппаратное обеспечение: ПО, компьютерное оборудование и т. п. Однако следует отметить, что такое вложение не принесет ожидаемой прибыли и рискует стать не рентабельным, если предприятие не обладает квалифицированными специалистами в области ГИС, должным образом не организовало работу с геоинформационными системами и не имеет конкретных сформулированных задач, на решение которых и будет настроена ГИС. Таким образом, можно выделить несколько основных факторов для успешного функционирования ГИС. Они представлены на рис. 2.

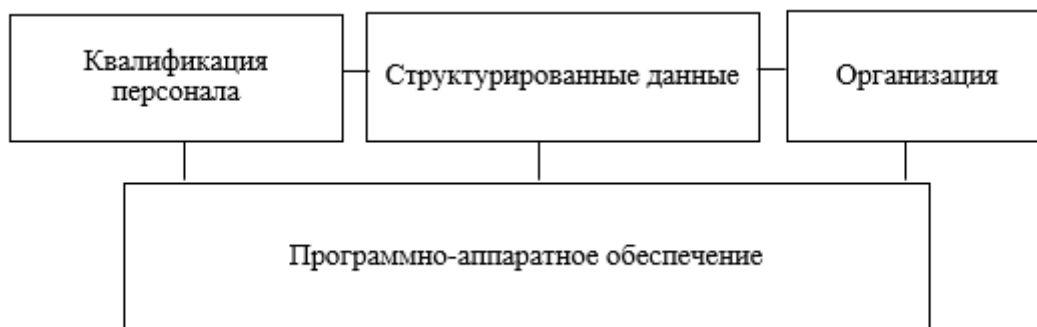


Рис. 2. Факторы успешного функционирования ГИС [1]

Fig. 2. Factors for the successful operation of GIS.

Основным принципом организации информации в геоинформационных системах является послойный принцип, позаимствованный из САПР. Послойный принцип ГИС имеет ряд отличий от аналогичного в САПР. Сравнение этих принципов в ГИС и САПР представлено в табл. 1.

Таблица 1. Послойный принцип в ГИС и САПР

Table 1. The sectioned principle in GIS and CAD

| ГИС                                                                                                                                                                               | САПР                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Представление тематических слоёв</b>                                                                                                                                           |                                                                                               |
| Векторная и растровые формы                                                                                                                                                       | Только векторная форма                                                                        |
| <b>Векторные данные</b>                                                                                                                                                           |                                                                                               |
| Являются объектными, т.е. несут информацию об объекте в целом                                                                                                                     | Несут информацию об отдельных элементах объекта                                               |
| <b>Тематические слои</b>                                                                                                                                                          |                                                                                               |
| Являются определенными типами цифровых картографических моделей, построенными на основе объединения пространственных объектов, имеющих общие свойства или функциональные признаки | Являются условными разграничителями, позволяющие разграничить части построенный друг от друга |

Общность всех слоев ГИС формируют основу её графической части, в которой объединяющим базисом являются цифровые и графические карты. Так, например геоинформационная система может включать в себя информацию о следующих параметрах:

- рельеф;
- охранные зоны;
- гидрография;

- коммуникация;
- схемы грузопотока;
- плотность населения;
- дороги.

Все эти параметры формируют тематические слои, суммируются и сливаются в единую интегрированную информационную систему ГИС. На рис. 3 представлена схема такой геоинформационной системы.

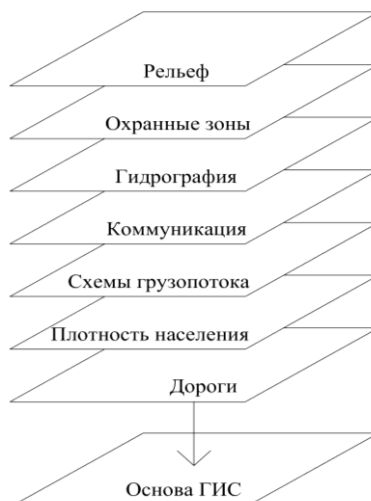


Рис. 3. Пример интегрированной системы ГИС [2]

Fig. 3. Example of an integrated GIS system [2]

Программно-аппаратное обеспечение геоинформационных систем служит для обработки географических данных, для чего в ее среде предусмотрен большой функционал, в том числе

сбор, хранение, управление, манипуляция и анализ различных типов данных. Структура ГИС представлена на рис. 4.

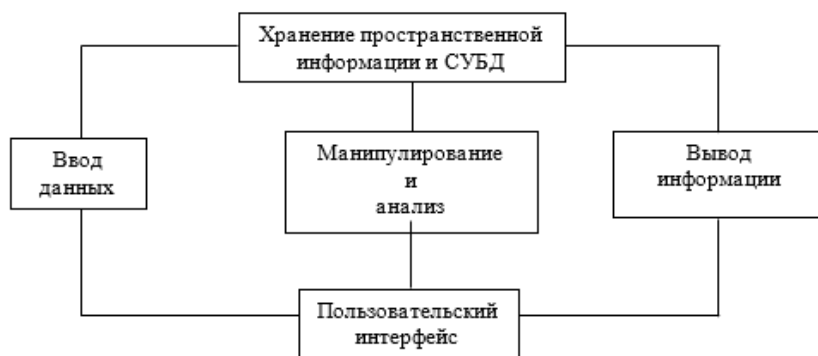


Рис. 4. Структура ГИС [1]

Fig. 4. Structure of GIS [1]

### Применение ГИС в строительстве

Геоинформационные системы нашли широкое применение в строительной сфере. Они

используются для решения целого спектра задач, решение которых с помощью геоинформационных систем представлено в табл. 2.

Таблица 2. Решение задач строительства с применением ГИС.

Table 2. Solving civil engineering problems using GIS.

| Задача                                      | Решение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Выбор участка под застройку                 | Благодаря геоинформационным системам можно выбрать участок, оптимально подходящий для застройки. Например, если заказчик планирует строить промышленное предприятие, то ему необходим участок, достаточно удаленный от жилых кварталов (в промышленном секторе) достаточно большой площади. С использованием ГИС решение такой задачи значительно. |
| Размещение объектов инфраструктуры          | Перед размещением новых объектов инфраструктуры, используя ГИС, можно учесть уже имеющуюся на участке застройки инфраструктуру, чтобы расположить новые объекты наиболее оптимально и гармонично с уже функционирующими.                                                                                                                           |
| Размещение инженерных и электрических сетей | С использованием ГИС можно детально изучить особенности рельефа местности, характеристику грунта и т. д., чтобы с их учетом провести линии электропередачи и другие инженерные сети наиболее эффективно.                                                                                                                                           |
| Планирование транспортных сетей             | Благодаря картам, интегрированным в ГИС, можно оптимально провести основные и вспомогательные маршруты транспортной сети в районе застройки.                                                                                                                                                                                                       |
| Логистика строительного процесса            | Благодаря ГИС, можно рассчитать необходимое количество техники, персонала и материальных средств, необходимых для обеспечения максимальной эффективности строительного процесса.                                                                                                                                                                   |
| Поставки строительных материалов            | С помощью ГИС можно определить ближайшего к месту застройки поставщика строительных и отделочных материалов и организовать наиболее быстрые, эффективные и безопасные маршруты поставок этих материалов к месту строительства.                                                                                                                     |

Также довольно перспективной областью применения геоинформационных систем является их объединение с BIM-технологиями. Благодаря слиянию этих технологий процесс строительства можно существенно оптимизировать. Для спроектированного с применением BIM-технологий здания или сооружения можно будет заранее

решить все прикладные задачи, изложенные в табл. 2, таким образом значительно ускоряя процесс организации строительного процесса и решения всех логистических вопросов и задач ещё на этапе проектирования. Схема BIM-проектирования с внедрением ГИС-технологий изложена в рис. 5.



Рис. 5. Схема BIM-проектирования с использованием ГИС

Fig. 5. BIM design scheme using GIS

Следует отметить, что подобные BIM-системы, интегрированные с ГИС, уже существуют. Одной из самых популярных таких систем является Autodesk InfraWorks 360. Этот сервис даёт пользователю возможность проектировать не только отдельные здания и сооружения, но и целые жилые районы, кварталы и города. Такое проектирование будет подразумевать не только непосредственное моделирование зданий и сооружений района застройки, но и расчет необходимых материалов,

строительных нагрузок, выбор места строительства. Кроме того, пользователь может загружать в свою модель такие геоинформационные данные, как облака точек и спутниковые изображения, что позволит создавать полноценные модели зданий и сооружений с учетом реальных условий их размещения. Пример пользовательской модели в интерфейсе Autodesk InfraWorks 360 представлен на рисунке 6.

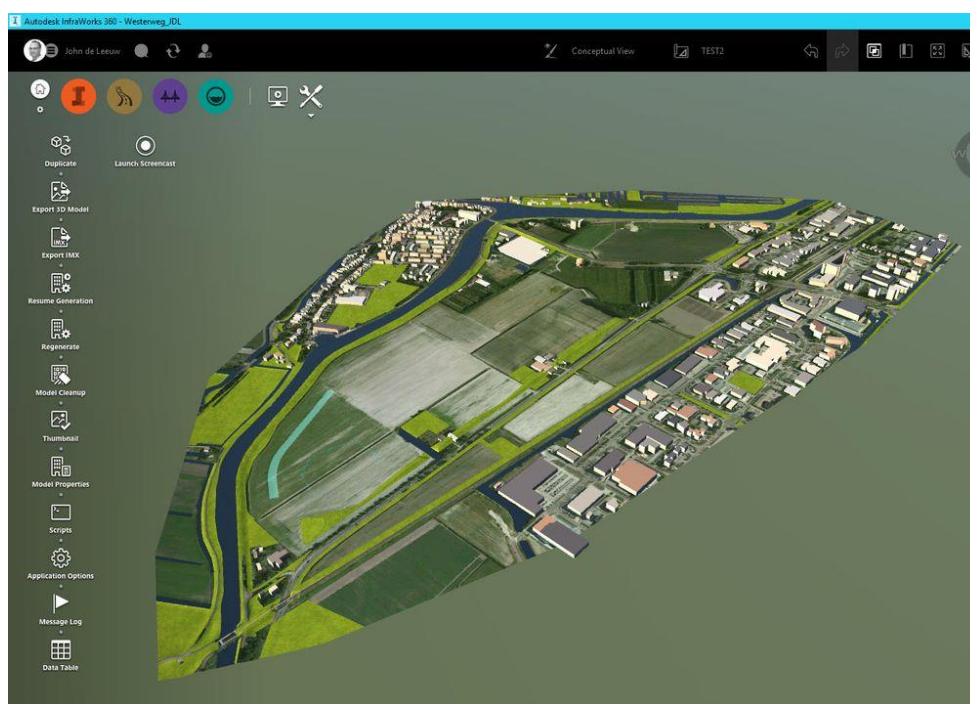


Рис. 6. Пример модели в Autodesk InfraWorks 360.

Fig. 6. Example of model in Autodesk InfraWorks 360.

## ПОГРЕШНОСТЬ СНЯТИЯ ТОЧЕК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГИС.

Несмотря на все преимущества и широкий спектр применения геоинформационных систем, ГИС обладают существенным недостатком, связанным с определением координат точек, интегрированных в геоинформационную систему.

Координаты точек определяются путем снятия их координат на местности на основе спутниковых данных или геодезических измерений. Совершенно очевидным является тот факт, что невозможно определить координаты точек без возникновения различных погрешностей. Проиллюстрируем, что снятие координат точек сопровождается проявлением случайных погрешностей.

Случайные погрешности – это погрешности, которые возникают при повторных измерениях одной и той же величины (например, физических констант), в т. ч. координат точек. В каждом их появлении не наблюдается какой-либо закономерности, правила. Случайные погрешности образуются в результате воздействия множества причин, которые невозможно учесть для каждого отдельного измерения или заранее определить. Для учета случайных погрешностей существуют определенные законы, которые проявляются при многократных измерениях.

Чтобы определить, как необходимо работать со случайными погрешностями, следует разобраться со способами их описания. Для этого проведем мысленный эксперимент: пусть многократно измеряют случайную величину  $x$  и ее значения колеблются в пределах от  $x_{min}$  до  $x_{max}$  а каждому измерению  $dx$  соответствует  $dn$  измерений из общего числа  $n$ . Из этого следует что,  $dn/n$  – вероятности «выпадения» значения  $dx$  среди всех значений интервала  $[x_{min}; x_{max}]$ . Пусть интервал  $[x_{min}; x_{max}]$  будет разбит на равные интервалы длиной  $\Delta x$ , тогда отношение упомянутой выше вероятности выпадения к длине интервала, равное  $dn/(n \cdot \Delta x)$  определяет плотность вероятности или распределение случайной величины. Соответственно, функция

$$\rho(x) = \frac{dn}{n \cdot dx} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\Delta n}{n \cdot \Delta x} \quad (1)$$

Называется плотностью вероятности, или просто – распределением случайной величины. Используя функцию распределения, можно оценить вероятность выпадения определенного значения  $x \in [x_{min}; x_{max}]$ . Однако использование функции распределения не всегда удобно для решения прикладных задач для оценки случайной погрешности, поэтому обычно используют привычные величины – среднее значение и дисперсию.

$$\text{if } n = 1 \rightarrow \langle x \rangle = x_1 \rightarrow \sum_{i=1}^{n=1} (x_i - \langle x \rangle)^2 = (x_1 - \langle x \rangle)^2 = (x_1 - x_1)^2 = 0 \rightarrow \sigma = \frac{0}{0} \text{ (неопределенность)}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что при одном измерении величина среднего квадратичного отклонения является неопределенностью  $[0/0]$  и не может быть определена практически путем расчётов.

Следует также отметить, что среднее значение случайной величины не является однозначным, эталонным результатом измерения, т. к. из такого положения следует, что случайная величина имеет постоянное значение, что не соответствует истине из-за её случайной природы.

Можно утверждать, что все измеряемые постоянные величины (в том числе независимые от времени координаты точек) подчиняются

Среднее значение  $\langle x \rangle$  измеряемой величины  $x$  соответствует центру распределения, вокруг которого откладываются отдельные распределения. Поэтому среднее и выбирается как окончательный результат измерений.

$$\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n(n-1)} \quad (2)$$

Дисперсия определяется как средний квадрат отклонений от среднего значения отдельных результатов измерения.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)} \quad (3)$$

С дисперсией связана величина, называемая среднее квадратичное отклонение и определяемая как квадратный корень из дисперсии

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), величина средней квадратичной ошибки определяет разброс результатов измерений вокруг среднего значения. Следует отметить, что точные значения  $\langle x \rangle$  и  $\sigma$  – предельные величины, и могут быть получены только при условии того, что значение измерений  $n \rightarrow \infty$ . При конечных значениях  $n$  корректно использовать термин экспериментальная оценка, который равно относится и к среднему значению, и к дисперсии.

Заметим так же, что знаменатель выражений (3) и (4) обращается в ноль при  $n = 1$ . В таком случае, в эксперименте, в котором выполнено только одно измерение невозможно определить среднее квадратичное отклонение, т.к.

**нормальному распределению Гаусса.** Нормально распределенная случайная величина имеет следующие свойства:

- Может принимать непрерывный ряд значений от  $-\infty$  до  $+\infty$ .
- Центр распределения или среднее значение случайной величины является центром симметрии графика зависимости функции ее распределения.
- Малые отклонения от среднего реализуются с большей вероятностью, чем большие.

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 7.

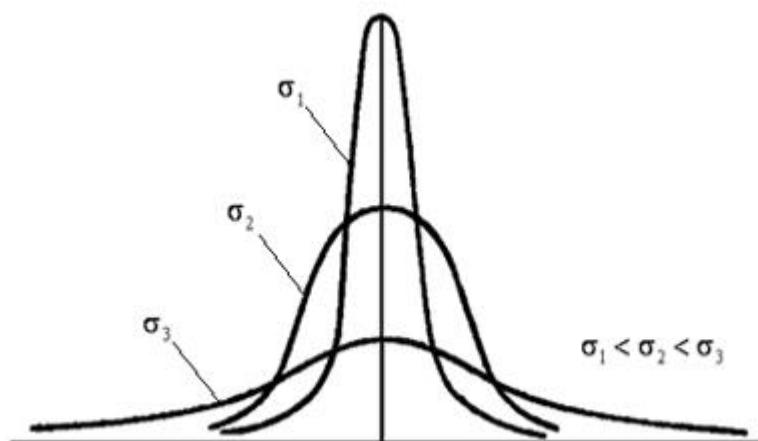


Рис. 7. Нормальное распределение Гаусса. [7]  
Fig. 7. Gaussian probability distribution.

Воспользовавшись выражением (1), получим выражение для оценки вероятности попадания случайной величины  $x$  в интервал  $[x_1; x_2]$

$$\frac{dn}{n} = \rho(x)dx \rightarrow \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{n} = \frac{n_2 - n_1}{n} = \int_{x_1}^{x_2} \rho(x)dx \quad (6)$$

При обработке результатов измерения обычно определяется симметричный относительно среднего значения интервал  $[\langle x \rangle - \Delta x; \langle x \rangle + \Delta x]$ . Вероятность попадания случайной величины в этот интервал называется **доверительной вероятностью**. Для практических целей актуальны несколько полезных её значений:

$\alpha = 0,68$

$\alpha = 0,95$

$\alpha = 0,997$

Для экспериментальной обработки данных как правило значение доверительной вероятности принимают равным 0,68. Соответственно, случайная погрешность измерения случайной величины определяется как

$$\Delta x = t_{\alpha N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{N(N-1)}} \quad (7)$$

где  $t_{\alpha N}$  – коэффициент Стьюдента, зависящий от числа измерений и заданного значения доверительной вероятности.

Эта же формула применима и к расчету случайной погрешности снятия координат точек различными геодезическими приборами. Пусть точка А ( $x$ ;  $y$ ;  $z$ ) была многократно снята относительно начала отсчета О (0;0;0) с целью определения её координаты  $z$ . Тогда координаты  $x$  и  $y$  (для простоты демонстрации расчета) можно принять статическими, то есть постоянными, не отклоняющимися в каждом измерении от предыдущего.

Случайную погрешность на величину  $z$  можно определить следующим образом:

1. Составить следующую таблицу:

Таблица 4. Расчет случайной погрешности измерения координат.

Table 4. Calculation of the random error of coordinate measurement.

| № изм. | $z$ | $z - \langle z \rangle$ | $(z - \langle z \rangle)^2$ |
|--------|-----|-------------------------|-----------------------------|
| 1      |     |                         |                             |
| 2      |     |                         |                             |
| 3      |     |                         |                             |
| ...    |     |                         |                             |
| N      |     |                         |                             |

2. Определив сумму квадратов отклонений от среднего, рассчитать среднюю квадратичную ошибку:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_i - \langle z \rangle)^2}{N(N-1)}}$$

3. Определить коэффициент Стьюдента (по таблицам Стьюдента) для количества измерений  $N$  при доверительной вероятности равной 0.68

4. Рассчитать погрешность измерений на  $z$

$$\Delta z = t_{\alpha N} \cdot \sigma_z$$

Аналогично определяются погрешности и на другие координаты точки А, но учитывая, что мы приняли их за статические, то в условиях задачи  $\Delta x = \Delta y = 0$ .

Не менее практичным и полезным знанием будет понимание того, в каком направлении точка А смещается от своего истинного значения из-за погрешностей. Для этого введем радиус-вектор

$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ , определяющий положение точки  $A(x; y; z)$  в декартовой системе координат с началом отсчета в точке  $O(0; 0; 0)$ . Введем также вектор  $\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}$ , определяющий положение точки  $\Delta A(\Delta x; \Delta y; \Delta z)$ , с координатами,

$$\vec{K} = [\vec{r} \times \Delta\vec{r}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x & y & z \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z \end{vmatrix} = (y \cdot \Delta z - z \cdot \Delta y)\vec{i} - (x \cdot \Delta z - z \cdot \Delta x)\vec{j} + (x \cdot \Delta y - y \cdot \Delta x)\vec{k} \quad (8)$$

На рис. 8. показано направление векторов  $\vec{r}$ ,  $\Delta\vec{r}$ ,  $\vec{K}$ .

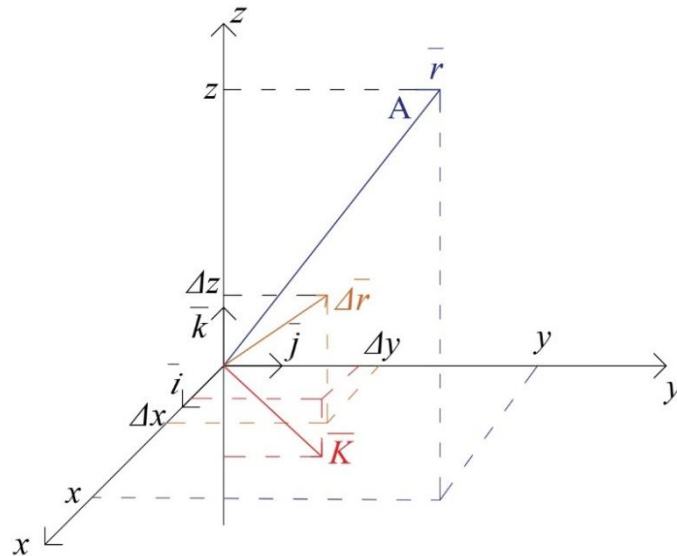


Рис. 8. Направления векторов, определяющих координату точки и её погрешности.

Fig. 8. The directions of the vectors that determine the coordinate of the point and its errors.

Приведем пример расчета случайной погрешности снятия координат точки. Возьмем из облака точек одну точку и рассчитаем для нее погрешность. Очевидно, что в данной задаче  $x$  и  $y$  являются неизменными во всех измерениях (положение точки в плоскости  $Oxy$  закреплено),

поэтому изменению подвержена только координата  $z$  данной точки. В процессе эксперимента было проведено шесть измерений одних и тех же координат точек. Возьмем одну из них:

Таблица 5. Пример расчета случайной погрешности.

Table 5. Example of calculating the random error.

| $z_i$   | $\langle z \rangle$ | $z_i - \langle z \rangle$ | $(z_i - \langle z \rangle)^2$ |
|---------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 28,2033 | 28,2898             | -0,0865                   | 0,007482                      |
| 28,2702 |                     | -0,0196                   | 0,000384                      |
| 28,2654 |                     | -0,0244                   | 0,000595                      |
| 28,3323 |                     | 0,0425                    | 0,001806                      |
| 28,3323 |                     | 0,0425                    | 0,001806                      |
| 28,3353 |                     | 0,0455                    | 0,00207                       |

Сумма квадратов отклонений от среднего:

$$\sum_{i=1}^6 (z_i - \langle z \rangle)^2 = 0,014145$$

Средняя квадратичная ошибка:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (z_i - \langle z \rangle)^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{0,014145}{6 \cdot (6-1)}} = 0,021714.$$

Значение коэффициента Стьюдента:

$$t_{\alpha N} = 1.103668 \quad (\alpha = 0,68; N = 6).$$

Погрешность измерения координаты z:

$$\Delta z = \sigma * t_{\alpha N} = 0,021714 * 1.103668 = 0,0245.$$

После расчета погрешности можно определить коэффициент поправки на координату точки:

$$\gamma = 1 + \frac{\Delta z}{\langle z \rangle} = 1 + \frac{245 * 10^{-4}}{282898 * 10^{-4}} = 1 + 9 * 10^{-4} = 1,0009.$$

Аналогичным образом можно рассчитать погрешность и коэффициент поправки для всех N точек облака. Тогда, усреднив коэффициент поправки, можно получить общий коэффициент поправки для всего облака:

$$\gamma_{обл} = \langle \gamma \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \gamma_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N \left( 1 + \left( \frac{\Delta z}{z} \right)_i \right)}{N}.$$

## ВЫВОДЫ

На основании всех вышеизложенных фактов и данных, можно с абсолютной уверенностью заключить, что применение геоинформационных систем актуально для многих сфер человеческой деятельности, в том числе для строительства. Благодаря применению ГИС-технологий, можно моделировать различные ситуации с учетом реальных условий местности, решать огромное количество прикладных задач. В сфере строительства одной из самых перспективных сфер внедрения ГИС-технологий является их интеграция с BIM-технологиями. Благодаря их слиянию, проектирование зданий и сооружений можно совместить с логистическим планированием строительного процесса, завершив его ещё на этапе моделирования здания или сооружения. Таким образом, можно сделать вывод, что применение ГИС технологий в строительстве позволяет значительно оптимизировать все его этапы: от проектирования до введения зданий и сооружений в эксплуатацию. Тем не менее, в геоинформационных системах существуют различные неточности, связанные с аппаратными искажениями данных, а также с возникающими при снятии координат точек для геоинформационной системы погрешностями. Благодаря приведенному анализу этих погрешностей в данном исследовании, можно повысить точность геоинформационных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баденко В.Л. Использование MapInfo для создания геоинформационных систем: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 90 с.

2. Инженерная геодезия. Использование современного оборудования для решения геодезических задач: учеб. Пособие / Е.Б. Михаленко [и др.]; под науч. ред. Е. Б. Михаленко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 98 с.

3. Баденко В.Л. Информационные технологии для выбора места размещения объекта капитального строительства: учеб. пособие / В. Л. Баденко, Д. К. Зотов, А. А. Федотов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 164 с.

4. Шишкин А.И. Управление качеством окружающей среды с применением геоинформационных систем: учеб. пособие / А.И. Шишкин, Н. Е. Горбунов, А. В. Елифанов. – СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2011. – 292 с.

5. Арефьев Н.В., Баденко В.Л. Геоинформационные системы в природообустройстве: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. – 108 с.

6. Система мониторинга и управления реализацией проектов в строительной индустрии на основе ГИС-технологий [Электронный ресурс]. – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2015/05/17/система-мониторинга-и-управления> (дата обращения: 05.04.2021).

7. Физика. Практическая обработка экспериментальных данных: метод. указания / сост.: Б.Д. Агапьев, В.В. Козловский. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 61 с.

## REFERENCES

1. Badenko V.L. sing MapInfo to create geographic information systems: Study guide. – St. Petersburg: Polytech Publishing House. un-ta, 2013 – 90 p.

2. Engineering geodesy. The use of modern equipment for solving geodetic problems: textbook.

Manual / E. B. Mikhaleiko [et al.]; edited by E. B. Mikhaleiko. - St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University. un-ta, 2014. – 98 p.

3. Badenko V.L. Information technologies for choosing the location of the capital construction object: studies. manual / V.L. Badenko, D.K. Zotov, A.A. Fedotov. – St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2019. – 164 p.

4. Shishkin A.I. Management of environmental quality with the use of geoinformation systems: textbook / A.I. Shishkin, N.E. Gorbunov, A.V. Epifanov. – St. Petersburg: Politekhi Publishing House, UN-ta, 2011. – 292 p.

5. Arefyev N.V., Badenko V.L. Geoinformatsionnye sistemy v prirodoobustroytve: Study guide. St. Petersburg: Politekhi Publishing House, un-ta, 2008. 108 p.

6. The system for monitoring and managing the implementation of projects in the construction industry based on GIS technologies [Electronic resource]. – URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2015/05/17/система-мониторинга-и-управления> (access date: 05.04.2021).

7. Physics. Practical processing of experimental data: methodological guidelines / B.D. Agapiev, V.V. Kozlovsky. – St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University. un-ta, 2013. – 61 p.

## GEOINFORMATION SYSTEMS IN CIVIL ENGINEERING AND ANALYSIS OF MEASUREMENT ACCURANSY

Shurshilin<sup>1</sup> E. A., Olekhovich<sup>2</sup> Ya. A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29

E-mail: <sup>1</sup>shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olekhovich\_yaa@spbstu.ru

**Abstract:** Geographic information systems (GIS) have a wide range of applications in all areas of human activity. They allow you to significantly simplify the solution of various tasks that require taking into account the real conditions of the terrain or are based on it. Particularly promising is the use of GIS in various areas of construction. The current understanding of their application in construction is, in general, to simplify the planning and logistics of the construction process, but there are other more promising applications of GIS: such as, for example, their integration with BIM technologies. In addition to construction, geoinformation systems can be applied in many areas of human activity: from territorial and administrative management to agriculture and ecology. No less important for understanding the possibilities of using GIS is the structural analysis of their organization, the characteristics of the principles underlying geoinformation systems. This article analyzes the potential of the use of geoinformation systems in construction and other areas of human activity, defines the range of practical tasks, the solution of which is significantly simplified with the use of geoinformation systems, considers the structure and organization of geoinformation systems, the most important principles of their functioning and construction, gives practical examples of the organization of geoinformation systems, interprets in detail the solutions of practical problems of construction with the use of GIS. The research problem of this article is the need to study and analyze the potential of GIS application in construction, to identify the most promising areas of their integration into the construction process for a clearer understanding of their effectiveness at all stages of the construction process and to popularize their implementation in the work of various companies and corporations working in this field.

**Subject of research:** geoinformation systems and the effectiveness of their application in construction.

**Materials and methods:** analysis of scientific literature, analysis and description of GIS application in construction.

**Results:** a range of construction tasks is considered and analyzed, the solution of which is simplified using geoinformation systems, the use of GIS in other areas of human activity is considered, as a result of which the relevance of the use of geoinformation systems and the need for their use in construction is proved. The structure and organization of geoinformation systems are analyzed, the most important principles of their construction are outlined, and a clear example of the structure of a geoinformation system is given. The question of inaccuracies of geoinformation systems is considered, the error of removing the coordinates of points during the formation of GIS is analyzed.

**Conclusions:** geoinformation systems can be used at all stages of the construction process (from the selection of building sites to its commissioning), and therefore it is necessary to introduce them everywhere and popularize them among companies and corporations engaged in the construction of buildings and structures. GIS can contain inaccuracies and various errors, the main of which are errors when removing the coordinates of points. In this study, these errors were analyzed, and the corresponding correction coefficients were derived.

**Key words:** geoinformation systems, construction, construction organization, BIM, measurement error, random errors.