



УДК 656.6

Шестова Марина Вадимовна, доцент, к.т.н., доцент кафедры Водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Завьялов Владислав Алексеевич, студент, кафедра Водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА

Аннотация. Рассмотрены геодезические системы координат на территории России, применяемые в строительстве наземных и гидросооружений. В тексте приводятся примеры методов преобразования и способов перехода между системами координат используемых на государственном и местном уровне, выявлены основные проблемы, связанные с их многообразием. Представлены основные средства программного обеспечения, используемые в геодезии.

Ключевые слова: системы координат, геодезия, методы преобразования, глобальные навигационные спутниковые системы, ГНСС, местные системы координат, проблемы параметров перехода.

Для создания навигационных карт решения задач топографо-геодезических и гидрографических работ применяются различные системы координат (СК). СК основаны на математической модели поверхности геоида (референц-эллипсоид), совпадающей по размерам и характеристикам исходной территории. С 1942 года на территории СССР была введена основная система координат СК-42, которая базировалась на референц-эллипсоиде Ф.Н. Красовского. Эту систему можно считать отправной точкой многообразия различных СК, используемых в настоящее время. Постановлением Правительства РФ [1] разрешено применение следующих координатных систем:

1. Геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011)
2. Система геодезических координат 1995 года (СК-95), работы в данной системе разрешены до 1 января 2021 года.
3. Система геодезических координат 1942 года (СК-42), работы в данной системе разрешены до 1 января 2021 года.
4. Местные системы координат (МСК). Разделяют основные типы: МСК кадастровых округов, условные СК (построенные на основе локальных геодезических сетей), городские СК (построены на основе Государственной Геодезической Сети, прикрепленные к опорным пунктам полигонометрии и триангуляции 1-4 класса)

На государственном уровне сохраняется многообразие систем координат, основанных на референц-эллипсоидах с различными параметрами, в том числе условные, не имеющие привязки к высокоточной ГГС, используемые на предприятиях. Это создаёт проблемы такие, как:

- а) обеспечение сохранности параметров перехода к государственной, или пространственно геоцентрической СК;
- б) низкое качество старых сетей, не отвечающих современным требованиям;
- в) системы, образованные на плоскости, без учёта пространственно геоцентрической системы координат, увеличат погрешность на крупномасштабном плане и при расширении территорий охвата.

Все сложности и недостатки многообразия ведут к увеличению ошибок, в том числе при переходе к ГГС. За неимением параметров перехода к старым планам и картам теряется возможность отследить и внести изменения в картографический материал данного участка. В этом случае необходимо проводить заново крупномасштабную съёмку непосредственно в одной из актуальных систем координат с необходимой точностью.

Для перехода между системами координат были разработаны различные методы, основанные на следующих факторах: преобразовании геодезических координат в прямоугольные пространственные координаты; преобразовании пространственно прямоугольных или геодезических координат; преобразовании геодезических координат в плоские прямоугольные.

Основные методы преобразования подходят для СК, построенных с учётом геоцентрической системы. Наименьшая точность и большее количество ошибок возникает при переходе между системами, базисом которых служат различные по характеристикам референц-эллипсоиды.

Основными параметрами перехода являются [2]:

1. $(C_x; C_y; C_z)$ – три параметра смещения;
2. $(\square_x; \square_y; \square_z)$ – три параметра разворота;
3. s – масштабный параметр.

Также для преобразования координат могут использоваться элементы трансформирования:

1. $(\square_x; \square_y; \square_z)$ – три линейных элемента трансформирования;
2. $(\square_x; \square_y; \square_z)$ – три угловых элемента трансформирования;
3. m – масштабный множитель.

Верные значение элементов, описания преобразования и формул в геоинформационном программном обеспечении, являются основными критериями высокоточного преобразования.

Наиболее распространённые способы преобразования систем координат [3]:

1. Способ Гельмерта – итерационный способ, учитывающий семь параметров, перечисленных ранее. Используется в большинстве случаев, для перехода между двумя системами отсчёта. Конечная точность определяется от того, насколько верны значения линейных элементов взаимного расположения референц-эллипсоидов.

2. Способ 10 параметров (Молоденский-Бадекас). Если в способе Гельмерта вращение осей происходит относительно точки в начале координат, то в способе преобразования по 10 параметрам эта точка принимается для получения максимальной точности перехода. По этой причине число параметров увеличивается на три. По этой причине точность вычислений возрастает. Применяется в государствах, использующих на своей территории несколько геодезических систем.

3. Способ 14 параметров. Применяется в рамках перехода одной и той же глобальной геоцентрической системы, при её обновлении. Переход между поколениями происходит по тем же 7 параметрам с помощью способа Гельмерта. Если появляется необходимость определить координаты в промежутке времени между эпохами, то

применяются ещё 7 параметров, учитывающих скорости изменения основных параметров за промежутки времени.

4. Дифференциальные формулы преобразования. С применением семи параметров перехода, используются для расчёта поправок в угловых секундах для геодезической широты и долготы, а также в метрах для геодезической высоты. Вычисления производят при переходе из одной геодезической системы в другую. Расчётная точность формул имеет погрешность в миллиметры. Окончательная зависит от точности параметров преобразования.

5. Специальный способ преобразования. Разработан для перехода между системами СК-42 и ПЗ-90.

Вышеперечисленные способы применяются, не только для СК, но и для перехода между референчными системами и глобальными геоцентрическими системами, на которых базируются глобальные навигационные спутниковые системы (такие, как ГЛОНАСС и GPS). Базисом ГЛОНАСС является «Параметры земли 90.11» (ПЗ-90.11), GPS основан на глобальной геоцентрической системе «World Geodetic System 84» (WGS-84 G1150).

Нормативным документом, регламентирующим методы преобразования, является ГОСТ 32453-201 [4]. Все преобразования систем координат выполняются согласно установленным правилам и едины для всех геоинформационных систем России. ГОСТ содержит информацию о параметрах и формулах перехода между системами, используемыми на государственном уровне, такими как: СК-42, СК-95, ГСК-2011, ПЗ-90, ПЗ-90.02, ПЗ-90.11, WGS-84(G1150). Описаны методы перехода между системами и значения необходимых элементов, но отсутствует связь между СК-42 и СК-95.

Широкое распространение получило специализированное программное обеспечение (ПО), позволяющее осуществлять вышеперечисленные переходы автоматически. В каждой стране имеется собственное ПО и организации его производящие. На территории РФ предпочтительны средства отечественного производства в связи со спецификой систем координат. Для решения поставленных задач геодезии применяются геоинформационные системы (ГИС), цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) и специальное геодезическое ПО.

В настоящее время актуально специализированное программное обеспечение, обладающее следующими возможностями:

1. ГИС «Панорама» версия 13.2.0.26.

Система управления базами данных электронных карт, с возможностью создания и редактирования растровых, векторных, матричных карт и дальнейшего использования при работе над прикладными задачами. Есть возможность создания приложений на основе данных.

Основные возможности: редактирование векторных и растровых карт местности с нанесением прикладной информации. Поддержка большого количества проекций карт и систем координат, в том числе СК-42, СК-95, ПЗ-90, WGS-84, ГСК-2011. Разномасштабный поэтапный перечень планов до космонавигационной карты Земли. Имеется возможность построения трёхмерных моделей, построение и анализ поверхностей, а также расчёты на плоскости и в пространстве. Программное обеспечение имеет широкий профиль возможностей вплоть до печати и реализации картографической продукции.

2. MapInfo Pro v2019.

Легко интегрируемая ГИС, доступная для освоения новыми пользователями. Поддерживает широкий перечень форматов, в том числе продуктов Microsoft Office и графические форматы, такие как AutoCad, DXF, SHP, DGN. Функционал близок ГИС «Панорама», это создание, редактирование и анализ данных для формирования карт и планов. Различные вариации отображения данных, в том числе наложение карты на

исходное изображение, как пример - спутниковый снимок. Постобработка включает удобный мастер публикации данных любого размера, дополняя примечаниями и графиком. Имеется линейка продуктов, рассчитанных под конкретные задачи.

3. Leica Geo Office.

ПО для обработки данных геодезических измерений, обеспечивает возможности управления, визуализации, обработки, импорта и экспорта данных собранных при съёмки местности с использованием GPS/ГЛОНАСС. По функционалу идентичен выше перечисленным программам, имеется возможность управления данными, визуализация и редактирование с дальнейшей публикацией материалов для пользователей карт и планов.

4. CREDO Транскор.

Программное обеспечение сервиса CREDO имеет большое количество продуктов, нацеленных на решение различных геодезических задач. Одним из них является Транскор - профессиональная программа по преобразованию геоцентрических, прямоугольных, плоских и геодезических координат по известным параметрам, которые могут быть выбраны автоматически или введены вручную.

5. ЦФС PHOTOMOD версия 6.6.2764.

Помогает с решением многих задач по сбору информации для фототриангуляции, построения трехмерной модели местности, использование большого количества обменных форматов для удобной совместимости различных программных средств и др. Система зарекомендовала себя как гибкая и доступная для новых пользователей с широким выбором инструментов. Имеет бесплатное ПО для перехода между системами координат с возможностью создания собственных систем координат PHOTOMOD Geocalculator.

Таким образом, анализ современного состояния существующих систем координат и методов их преобразования показал наличие сложностей при переходе от одной системы к другой. Их модернизация, разработка алгоритмов и математических моделей пересчета в настоящее время является актуальной задачей.

Список литературы:

- 1.Постановление Правительства Российской Федерации от 28.12.2012 №1463 «О единых государственных системах координат»
- 2.Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними: учебно-методическое пособие / сост. К.Ф. Афонин. – Новосибирск: Изд. СГГА, 2011. – 53 с.
- 3.Преобразования координат при инженерно-геодезических изысканиях – <http://www.geoygservis.ru/publishing/preobrazovaniya-koordinat-pri-inzhenerno-geodezicheskikh-izyskaniyakh/>
- 4.ГОСТ 32453-2017 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.

CURRENT SYSTEMS OF COORDINATES AND CONVERTATION METHODS

Marina V. Shestova, Vladislav V. Zavyalov

Annotation. We have considered current systems of coordinates in Russia territories, that are used in topographic and geodetic surveying also in water surveys. We have completed analysis methods of convertation and kinds of transition between the systems, that are used on local and state levels. We have revealed general problems, that are connected with their diversity. We introduce main means of software, using in geodesy.

Keywords: systems of coordinates, geodesy, convertation methods, Global navigation satellites systems, local systems of coordinates