

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕСТНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ОПЫТ ИХ УСТРАНЕНИЯ

А.В. Гушо, А.А. Панкова

Государственное предприятие «Белгеодезия»  
пр. Машерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь, [info@belgeodesy.by](mailto:info@belgeodesy.by)

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с наличием деформаций в некоторых местных системах координат (далее – МСК), действующих в Республике Беларусь, основными причинами их возникновения и методами их устранения.

**Ключевые слова:** государственная геодезическая сеть; государственная система отсчета координат; местная система координат; трансформирование координат; преобразование координат.

Геодезической основой для производства топографо-геодезических работ при инженерных изысканиях, строительстве, эксплуатации зданий и сооружений, в землеустройстве, при создании, ведении кадастров и выполнения других специальных работ в населенных пунктах (городах и поселках городского типа) до настоящего времени служили пункты геодезических сетей, созданных методами традиционной геодезии. Крупномасштабные топографические съемки в населенных пунктах Республики Беларусь выполнялись ранее и выполняются в настоящее время в МСК.

МСК – специальная плоская двухмерная прямоугольная система координат (далее – СК), установленная в отношении ограниченной территории с обеспечением связи с государственной системой отсчета координат (далее – ГСК) через параметры связи – «ключа», который одновременно указывает на способ образования МСК. Координаты пунктов в ГСК ранее и до сего времени выражаются в проекции Гаусса-Крюгера, которая является равноугольной (конформной), но не равновеликой. А основное назначение МСК – выполнение крупномасштабных съемок без решения редуционной задачи для линейных величин. Размеры линейных объектов на крупномасштабных топографических планах должны быть близки к реальным размерам линейных объектов на физической поверхности Земли.

В последнее время для создания геодезического обоснования широкое применение находят спутниковые методы, в особенности методы определения координат от постоянно действующих пунктов (ПДП) Спутниковой системы точного позиционирования (далее – ССТП) Республики Беларусь, которая функционирует в Международной Земной системе отсчета ITRS, поскольку только в этой системе отсчета достигнута требуемая погрешность взаимного положения ПДП: не более  $\pm 5$  мм при расстояниях между пунктами 50-70 км. Таким образом, при использовании спутниковых методов определения координат в МСК требуется выполнить цепочку трансформирования координат из ITRS в МСК с использованием нескольких наборов параметров связи. В этой цепочке наиболее уязвимым местом являются параметры связи ГСК – МСК. Из-за ошибок в методах определения параметров «ключа», допущенных в предыдущие два десятилетия, имеют место деформации в некоторых МСК.

С 2010 по 2016 г. унитарным предприятием аэрокосмических методов в геодезии «Белаэрокоосмогеодезия» выполнен комплекс работ по установлению параметров связи МСК с СК-95 Республики Беларусь и с геоцентрической системой отсчета координат, реализуемой ПДП ССТП Республики Беларусь. Работы завершены в 2018 году после реорганизации РУП «Белгеодезия» путем присоединения к нему УП «Белаэрокоосмогеодезия». Одним из важнейших результатов выполненной работы является оценка координатной основы населенных пунктов государства и определение списка МСК,

в которых обнаружены значительные деформации, требующие устранения, чтобы исключить конфликт между определением координат линейно-угловыми геодезическими методами и от ПДП ССТП Республики Беларусь.

На территории Республики Беларусь реализованы 3 основных метода образования МСК:

параллельный перенос координатных осей МСК относительно координатных осей ГСК на величины  $\Delta x$  и  $\Delta y$ ;

поворот координатных осей МСК относительно координатных осей ГСК в начальном пункте на угол  $\phi$ ;

масштабирование, то есть перенос координатных осей МСК на плоскость, касательную к поверхности относимости, отличной от поверхности отсчетного эллипсоида, или перенос осевого меридиана координатной зоны ГСК в населенный пункт, для которого устанавливается МСК.

Ранее, для перевычисления координат из СК-42 в МСК на территории Республики Беларусь установлены ключи перехода, представленные следующими упрощёнными схематическими формулами:

$$\begin{array}{ll} \text{МСК} = 42_6 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 + d(xy), \text{ Нп,} \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow \text{Нп, } \phi, m, +d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_3 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_3 + d(xy), \text{ Нп,} \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42^3 \rightarrow \text{Нп, } \phi, +d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_{\text{мм}} \rightarrow \text{Нп, } \phi, d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 63_3 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 63_3 + d(xy), \text{ Нп,} \end{array}$$

где приняты следующие сокращения, условные знаки и обозначения:

- МСК - местная система координат;
- $42_6$  - прямоугольные координаты в основной 6-ти градусной зоне в системе отсчета СК-42;
- $42_3$  - прямоугольные координаты в 3-ей градусной зоне в системе отсчета СК-42;
- $42_{\text{мм}}$  - прямоугольные координаты в 3-ой градусной зоне относительно местного меридиана, проходящего через начальную точку с координатами  $(X_0, Y_0)$ ;
- $63_3$  - прямоугольные координаты в 3-ой градусной зоне в системе координат СК-63;
- $\rightarrow$  - преобразование координат из одной зоны в другую или преобразование координат (параллельный перенос, поворот координатных осей, масштабирование);
- Нп - начальный пункт с координатами в МСК и СК-42;
- $\phi$  - угол поворота осей координат местной системы относительно осей координат образующей зоны;
- $m$  - линейный масштаб перехода с уровня моря на поверхность относимости;
- $d(x,y)$  - смещения абсциссы и ординаты прямоугольных координат  $dx$  и  $dy$ .

Природа масштаба – отношение длины линии в МСК к длине одноименной линии в ГСК. Происходит это из-за изменения величины удаления точки от отсчетного осевого меридиана картографической зоны при редуцировании на плоскость и (или) при изменении высоты над отсчетной поверхностью при редуцировании на поверхность относимости, отличную от поверхности отсчетного эллипсоида. Другой причины изменения масштаба быть не должно.

Главная задача государственного предприятия «Белгеодезия» – обеспечить отсутствие конфликта при определении координат в ITRS от ПДП ССТП с последующим

трансформированием их в МСК и определением координат от пунктов геодезической основы, созданной ранее в МСК методами триангуляции и полигонометрии.

Как было указано выше, в течение последнего десятилетия выполнен большой объем геодезических работ по оценке качества геодезических сетей, реализующих МСК, и оценке точности существующих параметров связи между ГСК и МСК, которые соответствовали бы способу первичного образования МСК и обеспечивали бы трансформирование координат в МСК без потери точности геодезической основы, созданной в ITRS или в ГСК.

В течение 80-х – 90-х годов принцип сохранения МСК был истолкован неверно: при модернизации городских (локальных) геодезических сетей значения координат сохранившихся пунктов, носителей прежней реализации МСК, оставлены без изменения, несмотря на то, что точность модернизированной государственной геодезической сети и модернизированной сети, реализующей МСК, как правило, была выше. Для этого использовался способ подбора новых значений параметров «ключа» по методу наименьших квадратов на основе двух наборов координат одноименных пунктов: в новой и прежней реализации МСК. В результате, собственные ошибки координат одноименных пунктов интерпретированы математическим аппаратом метода наименьших квадратов как наличие разворота и масштаба: появились МСК, для которых были применены неверные масштабные коэффициенты, соответствующие отнесению МСК на недопустимую поверхность относимости. В таблице 1 приведен список МСК населенных пунктов с недопустимыми масштабными коэффициентами в параметрах «ключа».

Таблица 1. МСК населенных пунктов с недопустимыми масштабными коэффициентами

№	Населенный пункт	Область	$m$	Но (м)
1	Каменец, гор.	Брестская	0,99989036	– 750
2	Шерешево, г.п.	— " —	0,99998	– 130
3	Мир, г.п.	Гродненская	1,000379	+ 2420
4	Ошмяны, гор.	— " —	0,99996	– 250
5	Юратишки, г.п.	— " —	1,0001567	+ 1000
6	Краснополье, г.п.	Могилевская	0,999883	– 1130
7	Хотимск, г.п.	— " —	0,9996972	– 1930

Для части МСК, образованных методом параллельного переноса координатных осей, при математической обработке измерений в ходах полигонометрии линейные измерения не были редуцированы на уровень моря и на эллипсоид, вследствие чего линейные измерения в полигонометрии и исходные пункты ГГС были отнесены на разные поверхности относимости.

Для всех случаев наличия существенных деформаций в МСК определена программа реконструкции городских (локальных) геодезических сетей, которая на сегодняшний день почти полностью выполнена.

Общая схема модернизации геодезических сетей включает следующие этапы:

Анализ всех имеющихся в архиве материалов по данной МСК. На основе этого получаем информацию о причинах проблем в МСК.

Создание спутниковой городской геодезической сети. Задача – сгущение ГГС, создание геодезической основы для уравнивания сети полигонометрии методом угловой привязки с максимальным ужесточением полигонометрии (сеть разбивается на простые системы ходов). Так локализуются деформации в прежней реализации МСК.

Уравнивание сети полигонометрии в ГСК. Все статистические оценки линейно-угловых измерений в сети должны обеспечивать высокое качество сети и полученной в результате уравнивания координатной основы.

Трансформирование координат в МСК по действующему ключу

Сравнение координат одноименных пунктов в прежних реализациях МСК и в новой. Оценка пространственного распределения остатков, оценка величин. Особое внимание – в границах АТЕ.

Подбор новых параметров ключа при условии сохранения способа образования МСК. На сегодняшний день только в одном случае не удалось сохранить способ образования МСК: в город Хойники параллельный перенос координатных осей заменен на способ разворота координатных осей в начальном пункте.

Выполнение реконструкции геодезической сети населенного пункта с сохранением местной системы координат позволяет не только исключить деформацию в МСК, но и сохранить большой объем картографических и кадастровых работ, выполненных ранее в местной системе координат, или обеспечить трансформирование в новую реализацию. Вместе с тем, эти работы обеспечивают высокую степень согласованности геопространственной информации, полученной с привязкой к пунктам городской (локальной) геодезической сети, созданной методом триангуляции и полигонометрии, и с привязкой к ПДП ССТП Республики Беларусь. Все это обеспечивает высокую однородность геодезической основы в государстве, позволяет использовать современные технологии при кадастровых, картографических, инженерно-геодезических работах.

УДК 528.486

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

В.П. Подшивалов

Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, [kafgiakgt@gmail.com](mailto:kafgiakgt@gmail.com)

В работах [2-6] и др. изложены теоретические основы формирования геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших картографических проекциях, когда любая по форме границ территория может быть отображена на плоскости с минимально возможными искажениями отображаемых элементов геометрических образов. В математической картографии широко используются эти методы изыскания проекций наиболее подходящих для создания карт различного назначения. При формировании координатной среды для математической обработки геодезических измерений и представления баз геодезических данных в общегосударственных масштабах в мировой практике используют весьма ограниченное число геодезических проекций, основанных на конформном отображении поверхности земного эллипсоида на плоскости (поперечно-цилиндрические Гаусса-Крюгера и УТМ, коническая Ламберта). Это было обусловлено большим объемом вычислений потому, что здесь требуется существенно более высокая точность по сравнению с картографическими проекциями.

**Ключевые слова:** картографические проекции; системы координат; государственная геодезическая сеть; топографическая съемка; крупномасштабные топографические планы.

В настоящее время при наличии современных вычислительных средств такой проблемы не существует, а задача формирования координатного описания объектов в автоматизированных геоинформационных системах самого различного назначения весьма актуальна. На этом основании нами предложена общая теория и алгоритмическое описание формирования класса геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших проекциях [2-6 и др.], которые допускают формирование таких проекций в автоматическом режиме для координатного описания объектов геоинформационных