

МЕСТНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Г.В. Демьянов (ЦНИИГАиК)

1963 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работает в ЦНИИГАиК, с 1996 г. по настоящее время — заведующий геодезическим отделом ЦНИИГАиК. В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2005 г. — докторскую диссертацию. С 2005 г. — заведующий кафедрой «Высшая геодезия» МИИГАиК. Доктор технических наук, профессор. Лауреат премии Ф.Н. Красовского. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

А.Н. Майоров (ЦНИИГАиК)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в полевых подразделениях аэрогеодезических предприятий ГУГК СССР. В 1993 г. окончил аспирантуру ЦНИИГАиК. В настоящее время — старший научный сотрудник геодезического отдела ЦНИИГАиК. Кандидат технических наук.

Г.Г. Побединский (Роскартография)

В 1980 г. окончил геодезический факультет НИИГАиК (СГГА) по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал в НИИ прикладной геодезии («Сибгеоинформ», Новосибирск). В 1983 г. поступил в аспирантуру ЦНИИГАиК. После защиты кандидатской диссертации с 1986 г. работал в Московском АГП. С 1992 г. — генеральный директор Верхневолжского АГП (Нижний Новгород). С 2006 г. по настоящее время — заместитель руководителя Роскартографии. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

Целью настоящей статьи является анализ существующего положения дел с местными системами координат* (МСК) с точки зрения современных требований геодезического и картографического обеспечения ведения кадастра объектов недвижимости, инженерных изысканий, градостроительной деятельности.

Анализ проведен по критериям точности и достоверности информации, возможностям реализации потенциала современных спутниковых технологий, а также возможностям модернизации местных систем координат и геодезических сетей, на которых они основаны.

Предлагаемые решения базируются на результатах исследований вопросов модернизации городских геодезических сетей, проведенных до 1990 г. Московским АГП [2–4], в 1995–2004 гг. Московским АГП, Верхневолжским АГП и МИИГАиК [5–8], а также анализа местных систем координат, выполненного в 2006–2008 гг. ЦНИИГАиК и МИИГАиК по заданию Роскартографии [9].

▼ История вопроса

В историческом плане возникновение местных систем координат как геодезической категории связано с тем, что они начали создаваться раньше общегосударственных и тем более

общеземных. В местных (условных) системах координат выполнялась съемка городов и крепостей в XVIII–XIX веках.

Интенсивное развитие городов и необходимость топографо-геодезического обеспечения строящихся объектов обуславливали необходимость создания этих геодезических построений и на их основе крупномасштабных топографических планов для локальных участков местности. В дальнейшем, по мере развития государственных геодезических сетей и создания общегосударственных систем координат, все локальные сети были связаны с государственными. При этом выяс-

*Примечание. «Под местной системой координат понимается условная система координат, устанавливаемая в отношении ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации, начало отсчета координат и ориентировка осей координат которой смещены по отношению к началу отсчета координат и ориентировке осей координат единой государственной системы координат, используемой при осуществлении геодезических и картографических работ» [1].

нилось, что городские геодезические сети имели более высокую точность и лучшую внутреннюю согласованность. Поэтому вопросы создания, реконструкции и развития городских геодезических сетей в научных работах и нормативно-технической литературе рассматривались отдельно от региональных и общегосударственных геодезических построений. К моменту формирования общегосударственных систем координат в местных системах координат было создано большое количество крупномасштабных планов населенных пунктов и крупных инженерных объектов. В местных системах координат было составлено также большое количество технической документации инженерной городской инфраструктуры и юридической документации, фиксирующей права на землю и недвижимость. Основной целью сохранения и развития существующих местных систем координат, а также создания новых является стремление минимизировать на локальной территории разницу между параметрами, измеренными на местности, и получаемыми на крупномасштабном плане.

Ссылки некоторых авторов на снижение секретности крупномасштабных топографических планов, как на основную причину введения местных систем координат, несостоятельны, так как до 1930-х гг. планы городов были несекретны в любой системе координат. Затем, до 1980-х гг., они были секретны, независимо от площади съемки или территории геодезического построения. В период с 1990 по 2003 гг. несекретными были планы в местной системе координат на площади до 10 км² застроенной территории и до 25 км² незастроенной. В 2003 г. критерии несекретности по площади увеличились до 25 км² застроенной территории

и до 75 км² незастроенной. В системе координат 1963 г. (СК-63) топографические карты и планы масштаба 1:50 000 и крупнее (совокупность сведений на этих картах и планах) секретны для любой площади территории. Но в связи со снятием в 2006 г. ограничений на точность определения координат географических объектов в любой системе координат, критерии секретности крупномасштабных карт и планов в МСК уже не актуальны для целей ведения различных кадастров в государственной системе координат.

Таким образом, преобразование существующих крупномасштабных карт и планов, инженерной и юридической документации из местных систем координат в государственную не привело бы к изменению грифа секретности, а с другой стороны — увеличило разницу между измерениями на местности и на плане, а также потребовало больших финансовых затрат и сложных организационных мероприятий.

Главным образом, в силу этих причин местные системы координат существуют до настоящего времени даже в высокоразвитых зарубежных странах. Именно в связи с указанными причинами к середине прошлого столетия на территории СССР практически во всех крупных городах существовали местные системы координат, основанные на городских геодезических сетях.

Во второй половине XX века, после введения в 1946 г. государственной системы геодезических координат 1942 г. (СК-42) [10], местные системы координат стали создаваться на основе пунктов государственной геодезической сети (ГГС) 1–4 классов, с использованием различных способов задания осевого меридиана и поверхности относимости, как правило, в

3-градусной зоне проекции Гауса-Крюгера.

В дальнейшем, на развитие систем координат в нашей стране повлияли существовавшие в то время жесткие ограничения на возможность открытого использования геодезической и картографической продукции в единой государственной системе координат.

Только желанием уйти от имеющихся режимных ограничений можно объяснить решение о введении СК-63 — видоизмененной СК-42. Система координат 1963 г. не являлась местной системой координат, так как была создана на всю территорию Советского Союза большими блоками, включающими до нескольких областей и республик. СК-63 была предназначена для создания топографических и специальных карт гражданского применения (землеустроительных, лесоустроительных, для борьбы с лесными пожарами и др.). Ее отличие от государственной системы координат 1942 г. состояло только в изменении стандартной разграфки листов карт в проекции Гауса-Крюгера и использовании в европейской части СССР 3-градусных зон. Положение осевых меридианов считалось неизвестным для предприятий и организаций, использующих созданную в этой системе координат продукцию. Предполагалось, что это будет служить основанием для понижения уровня секретности картографических и геодезических материалов. Точность СК-63 удовлетворяла требованиям для создания карт масштаба 1:10 000 и мельче. Крупномасштабные топографические планы населенных пунктов по-прежнему создавались и обновлялись в эти годы в более точных местных системах координат.

Система координат СК-63 просуществовала более 20 лет и в 1988 г. Постановлением Пра-

вительства СССР была упразднена. Тем не менее, за это время в СК–63 было создано довольно большое количество топографических и специальных карт гражданского применения. Желание сохранить возможность применения в той или иной форме этих материалов и в то же время уйти от режимных ограничений привело к идее создания местных систем координат по субъектам Российской Федерации. Постановлением Правительства РФ [1] к местным системам координат были отнесены все системы координат для территорий, по размерам не превышающим территорию субъекта Российской Федерации (ранее, в соответствии с действующими нормами, размеры территорий местных систем координат не могли превышать 5000 км²).

Для этой цели в 29-м НИИ МО РФ было предложено решение, в котором осевой меридиан МСК устанавливался приблизительно в середине территории субъекта РФ параллельно осевому меридиану системы координат СК–63. Само положение осевого меридиана МСК вычислялось таким образом, чтобы максимально сохранить возможность практически без изменений использовать картографические и геодезические материалы в системе координат СК–63.

Довольно остроумное решение, но достойное лучшего применения, так как к моменту его принятия уже было ясно, что система координат СК–63 по своим характеристикам точности не отвечает современным требованиям создания и использования крупномасштабных карт и планов, инженерной и юридической документации.

В настоящее время общее количество местных систем координат на территории России исчисляется несколькими тысячами. Только в ведении Москов-

ского территориального управления геодезии и картографии находится более 500 МСК.

▼ Современное состояние проблемы

Геодезические системы координат имеют два вида характеристик. К первому из них относятся принципы ориентирования координатных осей и положения начала координат. Этот вид характеристик, по существу, декларативен. Второй вид характеристик определяет принципы практической реализации системы координат в виде опорных геодезических сетей, представляющих собой совокупность геодезических пунктов, закрепленных на поверхности Земли. Именно состав и точность геодезических измерений, выполненных на пунктах геодезических сетей, в конечном счете, определяют фактическое положение осей системы координат и ее начала в теле Земли. При этом немаловажное значение имеют методы математической обработки результатов геодезических измерений, применяемые при построении системы координат. Только совокупность этих факторов в полной мере определяет систему координат как геодезическую категорию [8]. Следовательно, построение системы координат тесно связано с созданием и реконструкцией опорных геодезических сетей, являющихся не только физической реализацией систем координат на поверхности Земли, но и исходными данными для построения системы координат.

Существующие местные системы координат можно разбить на два основных типа:

— МСК, созданные на основе построения локальных (специальных) геодезических сетей;

— МСК, созданные на основе традиционной государственной геодезической сети пунктов триангуляции и полигонометрии 1–4 классов.

МСК первого типа, особенно городские местные системы координат, имеют, как правило, опорную геодезическую сеть высокой точности (выше точности государственной геодезической сети в системе координат СК–42).

Препятствием для дальнейшего успешного использования МСК такого типа в современных условиях широкого применения спутниковых технологий являются следующие проблемы:

1. Большинство МСК состоит из плоских прямоугольных геодезических координат, поэтому при расширении территории для использования местной системы координат, например, на присоединенных территориях, на территориях городов-спутников, аэропортов, возрастает разница между значениями параметров, измеренными на местности и на крупномасштабном плане.

2. При использовании современных спутниковых методов для достижения высокой точности исполнителю необходимо знать либо параметры перехода к пространственной геоцентрической системе координат, либо к государственной системе координат 1995 г. (СК–95), которые имеют закрытый характер. Поэтому, строго говоря, эти работы можно выполнять только в режиме постобработки, при соблюдении соответствующих режимных требований. Эти условия в значительной степени усложняют процессы геодезических работ и делают их экономически менее эффективными.

3. В ряде случаев городские сети в процессе их развития и расширения территорий хозяйственного освоения сгущались и дополнялись опорными сетями низкого качества, не отвечающими современным требованиям к точности координат и методам закрепления геодезических пунктов на местности.

При использовании местных систем координат второго типа, созданных на основе системы координат СК–42, основные проблемы связаны с тем, что точность координат государственной геодезической сети в СК–42 не соответствует современным требованиям и составляет 1/50 000–1/150 000 или до нескольких дециметров на расстоянии 15–20 км. Именно поэтому Постановлением Правительства РФ в 2000 г. [11] была введена государственная система СК–95, имеющая более высокую и однородную точность для всей территории России, — 1/300 000 или менее 10 см на расстоянии до 30 км [12, 13].

Кроме того, в процессе развития сетей сгущения в МСК положение вещей усугублялось новыми дополнительными ошибками. Часть пунктов в местных системах координат не сохранилась, и во многих случаях не ясно, на основе каких опорных пунктов создана техническая документация инженерной инфраструктуры. Во многих случаях на границах присоединенных территорий, имевших ранее разные местные системы координат, возникают невязки, достигающие метра и более. Эти недостатки в равной степени присущи системе координат СК–63 и, следовательно, ее новой модификации — местным системам координат субъектов РФ.

В равной, даже в большей степени, ввиду ее значительных размеров, к системе координат СК–63 для субъектов Федерации относится проблема искажений при редукции на плоскость.

Таким образом, резюмируя сказанное выше, существующим местным системам координат в той или иной степени свойственны основные недостатки:

— низкая и неоднородная точность опорных геодезических сетей (исключение может составлять ограниченное коли-

чество опорных геодезических сетей для городов, где выполнена их модернизация с применением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС));

— невозможность (в силу режимных ограничений) эффективно применять современные спутниковые технологии в существующих местных системах координат.

Как следствие этих факторов возникает комплекс проблем, без решения которых эксплуатация местных систем координат просто невозможна. Одни проблемы носят чисто формальный характер, связанный с существующим порядком официального установления и регистрации местных систем координат, другие — имеют причины принципиального характера.

Первая проблема связана с необходимостью определения с высокой точностью параметров перехода от местной системы координат к государственной системе геодезических координат СК–95. Ошибки координат опорных геодезических сетей в МСК, а часто и неизвестность координат пунктов этих сетей в системе координат СК–95, делают выполнение этого требования довольно сложным.

Вторая проблема связана с обеспечением ведения государственного кадастра объектов недвижимости в МСК субъекта РФ. Желание осуществлять реализацию этого процесса в системе координат субъекта РФ вполне естественно, ведь для того эти системы координат и создавались. Поэтому возникает необходимость определения параметров перехода от местных систем координат субъектов РФ к существующим городским МСК. Решение этой проблемы весьма сложное, поскольку сказываются ошибки старых локальных геодезических сетей и местных систем координат. Следовательно, возник-

ает необходимость модернизации геодезических построений (городских геодезических сетей) и на их основе модернизации МСК городов, при условии минимизации расхождений в каталогах местных систем координат и, соответственно, в имеющихся крупномасштабных картах и планах, в инженерной и юридической документации. Для решения этой проблемы также требуется уточнение и МСК субъектов РФ. И, как следствие этой ситуации, встает вопрос: кто и за какие средства должен выполнять эту работу?

Такая же ситуация возникает при расширении зоны хозяйственного освоения в городах. В этом случае появляется необходимость определять параметры перехода от городской МСК к местной системе координат присоединяемого района. При решении этой задачи стандартными средствами могут возникать расхождения, достигающие метра и более.

Перечень проблем, связанных с эксплуатацией МСК, может быть продолжен. Мы остановились лишь на тех из них, которые носят принципиальный характер и свойственны подавляющему большинству МСК. Их выбор осуществлялся для обоснования необходимости принятия принципиального решения, без которого эксплуатация местных систем с необходимой точностью в современных условиях практически невозможна. Очевидно, что такое решение возможно только на основе применения пространственных систем координат.

▼ Предлагаемое решение

Оптимальным решением проблемы обеспечения эффективного применения местных систем координат в системе геодезического и картографического обеспечения территории России является создание интегрированной системы пространственных МСК по субъектам РФ.

Идея этого решения состоит в следующем.

Для каждого субъекта Федерации проектируется пространственная местная система координат (ПМСК). Параметры ориентировки этих ПМСК в теле Земли выбираются такими, чтобы координаты опорных геодезических сетей в новой (создаваемой) ПМСК отличались от координат в общеземной геоцентрической и государственной геодезической СК-95 системами координат на величину, больше 10 м. Причем естественно, что параметры ориентировки ПМСК данного субъекта РФ должны быть отличны от пространственных местных систем координат других субъектов РФ.

Значения этих параметров будут закрытыми (неизвестными) для пользователя. Эти параметры передаются в Территориальные управления Роскартографии совместно с информацией, необходимой для регистрации ПМСК в соответствии с установленным порядком.

Исполнителю при проведении работ в ПМСК на территории любого субъекта РФ эти параметры не нужны.

Преимущества такого решения заключаются в следующем:

1. ПМСК является оптимально эффективной для реализации потенциала спутниковых технологий на основе применения ГНСС.

2. Пользователю при выполнении работ не нужно знать параметры перехода от ПМСК ни к СК-95, ни к WGS-84 (ITRF). Ему достаточно располагать информацией о координатах пунктов опорной геодезической сети в ПМСК, которые будут открыты для использования.

3. Параметры перехода от ПМСК к любой уже существующей или вновь создаваемой МСК будут открыты для использования в виде параметров картографической проекции.

4. ПМСК не будут иметь иска-

жений, независимо от размеров территорий, на которые они распространяются.

5. Работы по развитию геодезического обоснования инженерных изысканий или другие работы в целях проектирования каких-либо объектов, расположенных на границе субъектов РФ, могут выполняться в любой ПМСК из граничащих субъектов РФ и затем, в случае необходимости, пересчитываться в новую картографическую проекцию для МСК данного района.

6. В ряде уникальных случаев при проектировании газопроводов и нефтепроводов и транспортных магистралей, имеющих большую протяженность с запада на восток, целесообразно использовать специальные проекции для узких участков местности большой протяженности. Опыт разработки таких «экзотических» проекций имеется в МИИТ и МИИГАиК.

В ЦНИИГАиК и МИИГАиК на основе изложенных принципов был разработан ряд ПМСК и внедрен в практику работ в регионах. Результаты выполненных работ подтверждают эффективность предлагаемого решения.

▼ Анализ соответствия предлагаемого решения общей тенденции развития современной системы геодезического обеспечения

Предлагаемое решение по созданию интегрированных систем ПМСК соответствует концепции развития высокоэффективной системы геодезического обеспечения, создаваемой Роскартографией в рамках Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» (ФЦП «ГЛОНАСС»).

В соответствии с планами мероприятий ФЦП «ГЛОНАСС», в 2011 г. Роскартографией будут завершены работы по развитию спутниковой государственной геодезической сети нового поколения для экономически раз-

витых и густонаселенных районов Российской Федерации. Структура этой сети оптимальным образом соответствует эффективному применению ГНСС. По состоянию на 2008 г. Роскартографией создана сеть ФАГС и ВГС в количестве порядка 240 пунктов и более 1000 пунктов СГС-1.

Именно сеть пунктов СГС-1 предназначена для задач геодезического и картографического обеспечения, имеющих массовый характер. Расстояние между пунктами СГС-1, в среднем, составляет 30 км. Это расстояние является оптимальным при создании сетей постоянно действующих базовых дифференциальных станций ГНСС в целях измерений в режиме кинематики реального времени (РТК).

Одна треть пунктов СГС-1 совмещена или связана точными измерениями с пунктами ГГС 1–4 классов (т. е., как минимум, через каждые 100 км). Это обеспечивает надежную связь ПМСК с государственной системой СК-95.

Треть пунктов СГС-1, в свою очередь, связана с пунктами нивелирования не ниже чем III класса. Благодаря этому требованию, обеспечивается возможность построения детальных цифровых моделей квазигеоида, строго согласованных со спутниковыми данными. В результате, спутниковые технологии будут успешно применяться не только при развитии планового обоснования в МСК, но и при определении нормальных высот.

В соответствии с ФЦП «ГЛОНАСС», планируется также на основе спутниковых технологий построение городских каркасных геодезических сетей.

Таким образом, создаваемая сеть пунктов СГС-1 и каркасные геодезические сети будут являться основой для реализации предлагаемого решения про-

блемы модернизации МСК. Для интенсификации этих процессов необходимо доленое участие заинтересованных ведомств и организаций.

Существенным моментом для решения проблемы реконструкции МСК является то, что планами ФЦП «ГЛОНАСС» предусмотрено также в течение 2009–2011 гг. выполнение совместного уравнивания координат пунктов ГГС 1–4 классов совместно с пунктами спутниковых сетей ФАГС, ВГС и СГС-1. Таким образом, совокупность пунктов ГГС (порядка 300 тыс. пунктов) будет одновременно являться реализацией как национальной геоцентрической системы координат, так и уточненной системы координат СК–95. И самое главное, все системы в результате уравнивания будут иметь высокоточные параметры взаимного перехода для всей территории Российской Федерации.

В заключении хотелось бы отметить, что создание местных систем координат для субъектов Российской Федерации на основе СК–63, также как и предлагаемый авторами выход из создавшейся ситуации, главным образом продиктован существующими ограничениями на режим использования геодезической и картографической продукции. При поиске оптимального решения авторы исходили из мнения, что рано или поздно существующие ограничения будут отменены (будем надеяться, что это время наступит достаточно быстро).

И в этом случае представленное решение не окажется напрасным, поскольку оно создает оптимальную возможность для модернизации и развития МСК на основе применения спутниковых технологий.

По мнению авторов, местные системы координат будут использоваться еще достаточно продолжительное время, неза-

висимо от режимных ограничений.

Авторы при подготовке статьи не ставили перед собой цели детального анализа имеющихся проблем, поскольку в рамках одной статьи это сделать вряд ли возможно. Основное назначение работы — это обоснование необходимости принятия безотлагательного решения данного вопроса. По мнению авторов, предлагаемое решение является оптимальным в современных условиях как с позиции существующих требований к точности геодезического и картографического обеспечения, так и с точки зрения эффективной реализации современных спутниковых технологий. Авторы рассчитывают также на ответную реакцию широкого круга пользователей по существу данной проблемы.

▼ Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 03 марта 2007 г. № 139 «Об утверждении правил установления местных систем координат».
2. Гринберг Г.М. Деформации геодезических сетей, связанные с потерей точности при их математической обработке // Сборник докладов Всесоюзной конференции «Проблемы математической обработки геодезических сетей», Новосибирск: НИИПГ, 1977.
3. РТМ Методы устранения деформаций городских геодезических сетей, особенности их математической обработки, проектирования и проложения. ГКИНП-06-206–87. — М.: ГУГК при СМ СССР, 1987.
4. Руководство по математической обработке геодезических сетей и составлению каталогов координат и высот пунктов в городах и поселках городского типа. ГКИНП-06-233–90. — М.: ГУГК при СМ СССР, 1990.
5. Ефимов Г.Н., Побединский Г.Г. О необходимости координации работ по созданию государственной и городских геодезических сетей // Геодезия и картография. — 1999. — № 3. — С. 24–30.
6. Побединский Г.Г., Сучков А.В., Бутович Ю.К., Лобазов В.Я. Рекон-

струкция геодезической сети города Владимира // Геодезия и картография. 1999. — № 4. — С. 24–30.

7. Андриянов В.А., Бородко А.В., Еруков С.В. и др. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS (ГКИНП (ОНТА)-01-271–03). — М.: ЦНИИГАиК, 2003. — 182 с.

8. Бородко А.В., Еруков С.В., Побединский Г.Г. и др. Создание и реконструкция городских геодезических сетей по спутниковым технологиям // Геодезия и картография. — 2004. — № 2. — С. 15–25.

9. Демьянов Г.В. Геодезические системы координат, современное состояние и основные направления развития // Геодезия и картография. — 2008. — № 9. — С. 17–20.

10. Постановление Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760 «О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР».

11. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. № 568 «Об установлении единых государственных систем координат».

12. Бородко А.В., Макаренко Н.Л., Демьянов Г.В. Развитие системы геодезического обеспечения в современных условиях // Геодезия и картография. — 2003. — № 10. — С. 7–13.

13. Ефимов Г.Н. Результаты уравнивания астрономо-геодезической сети // Геодезия и картография. — 1995. — № 8. — С. 17–22.

RESUME

Current situation with the local coordinate systems in Russia is analyzed. Under security restrictions for the geodetic and cartographic products usage authors propose to create an integrated spatial local coordinate system for every RF subject. Such a system implementation will make it possible to both optimally modernize and develop local coordinate systems of various destination based on satellite technologies. This exactly corresponds to the conception of developing a highly efficient geodetic support system, being created by the Roskartografiya company within the framework of the Federal target program «Global Navigation System».