

УДК 528.33

**АНАЛИЗ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ  
СЕТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ  
РЕСПУБЛИКИ**

**Боштабаев Омирзак Кадырбаевич**

*i\_life1991@mail.ru*

Магистрант 1го курса кафедры Геодезия и Картографии ЕНУ им. Л.Н.Гумилева,  
Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.Сагындык

Мир постепенно вступает в эпоху четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0). Суть Индустрии 4.0 заключается в том, что происходит слияния технологий, которые создают новые инновационные технологии, размывая границы между физическим и виртуальным миром, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, интегрированные в единую цифровую систему. Программные документы «Стратегия развития 2050», «Цифровой Казахстан», «Индустриализация» и «Третья модернизация Казахстана» направлены на решение глобальных трендов.

Эти преобразования касаются и отрасли геодезии и картографии, включающее в себя геоинформационные технологии и дистанционное зондирования Земли (ДЗЗ), которые имеют передовые и современные решения в информационных технологиях. Это преобразование называют - Геоиндустрия [1]. В данный момент мир находится на 3-й стадии, в Геоиндустрии 3.0, где в порядке вещей использование новых спутниковых, аэросъемочных технологий и развитие аналитических комплексов в геоинформационных системах.

Эти преобразования, имеют место и в отрасли геодезии и картографии Республики Казахстан. Однако имеются ряд проблем, которые не позволяют использовать современное геодезическое оборудование для работы на основе спутниковых технологий.

Основная проблема это устаревшая государственная геодезическая сеть (ГГС) и отсутствие государственной системы координат соответствующая современным спутниковым технологиям.

На данный момент на территории РК установлена единая государственная система координат 1942 года (СК-42), утвержденная постановлением правительства РК [2] с параметрами:

- в качестве исходного пункта принят центр зала Пулковской обсерватории – пункт Пулково;
- за отсчетную поверхность принят эллипсоид Красовского;
- высота геоида над эллипсоидом Красовского равна нулю Кронштадского футштока;
- Балтийская система высот 1977 является системой нормальных высот.

Для развития сети были использованы классические методы геодезического измерения, триангуляция, полигонометрия и трилатерация, а так же нивелирование для определения высот земной поверхности и гравиметрические для определения силы тяжести Земли.

ГГС РК состоит из:

- астрономо-геодезической сети (АГС) 1 и 2 классов;
- геодезической сети сгущения (ГСС) 3 и 4 классов.

На территории РК определено положение 146 700 пунктов Государственной геодезической сети в СК-42. СК-42 была высокого качества и соответствовала точности создания ГГС. При общем уравнивании сети 1 и 2 класса в 1991 году были получены следующие основные характеристики:

средние квадратические ошибки (СКО) из уравнивания АГС (таблица 1).

Таблица 1

| Единицы<br>веса | Направлени<br>я 1 класса | Направления<br>2 класса | Измерения<br>Азимута | Поправки<br>в азимут | Поправки<br>в абсциссу | Поправки в<br>ординату |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 1,061           | 0,52"                    | 0,75"                   | 1,27"                | 1,36"                | 11,17 м                | 8,26 м                 |

Относительная СКО стороны 1 класса 1:377 000, стороны 2 класса 1:246 000. Относительная поправка в длину линии 1:269 000. Среднее смещение сети по широте 7,89 м, по долготе 4,23 м. При средней длине стороны сети 2 класса в 12,5 км ошибка

взаимного положения смежных пунктов составила 5 см, в сети 1 класса 7 см. СКО передачи координат от Пулково до Берингова пролива составила по широте 1,02 м и по долготе 1,10 м.

Расхождение с координатами системы 1942 г. систематически растут по мере удаления на восток от исходного пункта Пулково и достигают 24 м по широте и 27 м по долготе. Это наглядно свидетельствует об огромной роли влияния методов обработки на получаемый результат, поскольку в обоих случаях использованы одни и те же измерения. Этой точности в настоящее время недостаточно для удовлетворения современных требований и новых технологий. Современные спутниковые геодезические технологии позволяют не только повысить точность определения координат, но и снять ограничения с расположения геодезических пунктов и рабочих нюансов, навязанных классической геодезией. Эти кардинальные изменения способствуют развитию новой спутниковой геодезической сети [3], т.е. модернизации существующей ГГС.

С проблемой установления новой системы координат столкнулись многие страны СНГ и дальнего зарубежья. Изучение подходов к решению проблемы в других странах весьма полезно, поэтому кратко рассмотрим реконструкции ГГС в Российской Федерации и Китайской Народной Республике.

Российская Федерация (РФ), как и все развитые страны, после развертывание глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС начали модернизацию ГГС. Результатом этих работ является первая модернизированная система координат «Система координат 1995 года» (СК-95), а так же геоцентрическая государственная система координат «Параметры Земли» (ПЗ -90) [4].

Параллельно с наземными геодезическими измерениями АГС было принято решение о построение космических геодезических сетей (КГС).

Во второй половине 1980-х годов, в СССР были запущены специализированные спутники геодезической направленности Гео-ИК. С их помощью были получены характеристики и ПЗ-85 в дальнейшем и ПЗ-90, как геоцентрической СК. Изначально основной целью создания ПЗ-90 являлось высокоточное обеспечение навигации, орбитальных полетов и решение практических задач геодезии. В 2000 году ПЗ-90 получает статус государственной системы координат [5].

В начале 1990-х, в РФ сформировалась КГС, с применением искусственных спутниковых систем Гео-ИК и Доплеровская геодезическая сеть (ДГС), завязанная на СНС GPS Tranzit. С помощью доплеровских наблюдений в сети было задействовано 160 пунктов.

В 1993-1995 годы Центральным научно-исследовательским институтом геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК) выполнялась математическая обработка и совместное уравнивание трех сетей: космической геодезической сети (далее –КГС), астрономо-геодезической сети (далее – АГС), доплеровской геодезической сети (далее-ДГС). К вычислительным работам были привлечены все пункты космической и доплеровской ГС, а также совместные, привязанные наиболее близко расположенные пункты АГС и охватывающие всю территорию страны.

Результатом этих работ стала новая сформированная из 134 опорных пунктов ГГС, с помощью которых была сориентирована и задана система координат СК-95. Координатные оси СК–95 расположены параллельно осям общеземной системы отсчета ПЗ-90. Положение начала СК-95 задано таким образом, что значения координат пункта ГГС Пулково в системах СК-95 и СК-42 совпадают. Переход от геоцентрической системы координат к СК-95 выполняется по формулам:

$$X_{СК-95} = X_{ПЗ-90} - \Delta X_0,$$

$$Y_{СК-95} = Y_{ПЗ-90} - \Delta Y_0,$$

$$Z_{СК-95} = Z_{ПЗ-90} - \Delta Z_0,$$

где  $\Delta X_0$ ,  $\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$  – приращения координат, на которые отличаются СК-95 от ПЗ-90 при пространственном ориентировании начала координат,  $\Delta X_0 = +25,90$  м,  $\Delta Y_0 = -130,94$  м,  $\Delta Z_0 = -81,76$  м.

Система координат СК-95 не имеет точно установленных параметров связи с геоцентрической системой координат WGS-84. Кроме того, учеными В.Н. Страховым, М.М. Машимовым, Н.Н. Воронковым, были выявлены множество методических ошибок в определении координат пунктов, что СК-95 по точности не удовлетворяют современную геодезию, и дефект уравнивания АГС одним блоком покрывающая площадь 22 млн. км<sup>2</sup>, что не позволяет точно ориентировать АГС относительно ПЗ-90. Естественно, элементы редукции АГС в СК-42 определены с грубыми ошибками. Так, по определению ЦНИИГАиК линейные элементы разнятся на 12,8 м. Это грубая ошибка при засечке центра эллипсоида пучком радиус-векторов 164 тыс. пунктов [6].

2006–2010 гг. с учетом предыдущих ошибок, под методическим руководством ЦНИИГАиК была разработана государственная геодезическая система координат 2011 г (ГСК-2011) [7]. ГСК-2011 является геоцентрической экваториальной пространственной прямоугольной системой координат. Она определяет положение точки относительно центра масс Земли, плоскость экватора принята как главная отсчетная плоскость, счет координат начинается с правосторонней пространственной декартовой системой координат. По уровню точности и принципам ориентации в теле Земли системы координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11 (обновленная версия ПЗ-90) соответствуют друг другу, а также международной системе координат ITRF.

Мировые тенденции процесса создания системы геодезического обеспечения включает два основных раздела:

1. Построение ГГС;
2. Дифференциальные методы измерения ГНСС.

Оба этих раздела должны быть взаимосвязаны между собой.

Основу ГСК 2011 составляют ГГС, которая состоит из:

- фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) - 50 пунктов
- высокоточной геодезической сети (ВГС) — 300 пунктов;
- спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1) — 4500 пунктов.

На пунктах ФАГС ведутся постоянные наблюдения ГНСС, на пунктах ВГС периодические наблюдения ГНСС. Пункты СГС располагаются в густонаселённых экономически развитых районах, где вероятность проведения геодезических работ больше.

Относительно пунктов ФАГС, ВГС и СГС были уравнены традиционные геодезические сети триангуляции и полигонометрии 1 - 4 классов. Тем самым все пункты ГГС стали физической реализацией ГСК 2011.

Традиционной геодезической системой координат в Китае является Пекинская геодезическая система координат 1954 года, которая представляет собой систему координат с использованием не геоцентрического эллипсоида, и система отсчета поддерживалась главным образом общенациональной АГС, основанной на астрономических и триангуляционных измерениях. Традиционной системой высоты является система высот Желтого моря 1956 года. Это была первая система высот для КНР, которая положила конец истории использования различных систем высоты. Эти две системы внесли важный вклад в экономику и социальное развитие страны. После реформы КНР организовали Китайское национальное управление геодезии, картографии и ГИС (НУГК), которая вела работы в этой отрасли.

НУГК завершила измерения астрономической геодезической сети в 1982 году, которая состояла из 48 000 точек. На этой основе была создана национальная геодезическая система координат, названная «Сианьской геодезической системой координат 1980», точность измерения которой была значительно улучшена по сравнению с национальной геодезической системой координат 1954 года.

С развитием и широким применением спутниковой технологии НУГК построил высокоточные национальные сети GPS класса-A и класса-B, с 818 точками, включая 8 постоянно действующих опорных станций (ПДОС). Сеть обеспечивала управление трехмерной геоцентрической системой координат для территории страны, и точность улучшилась как минимум на два порядка по сравнению с «Сианьской геодезической системой координат 1980 года», что означает новый этап в спутниковой геодезической сети в Китае.

В 2003 году НУГК в сотрудничестве с Военным управлением и Управлением по землетрясениям в КНР, была создана Национальная сеть геодезического контроля GPS 2000. 2518 контрольных точек GPS и 28 постоянно действующих опорных станций были объединены. На этой основе была также проведена комбинированная корректировка между национальной сетью геодезического контроля GPS 2000 и национальной АГС, а также были получены геоцентрические координаты точек в АГС. Геодезическая сеть GPS 2000 используется в качестве отсчетной основой «Китайской геодезической системы координат 2000» (КГСК2000).

В настоящее время основой высот является национальная высотная основа 1985 года, начало отсчета находится на станции прилива Даганг в Циндао. НУГК закончила сеть нивелирования I-го класса протяженностью 93 000 км, в том числе 100 колец в 1984 году, и нивелирующую сеть II-го класса протяженностью 136 000 км в 1990 году. На основе этих нивелирующих сетей была построена национальная система вертикальных данных 1985 года. По сравнению с системой опорных данных Желтого моря 1956 года, она имела некоторые преимущества: повышенную плотность, улучшенную точность и более рациональную структуру. НУГК завершила повторные измерения нивелирной сети I-го и II-го класса в период с 1991 по 1999 годы, чтобы еще больше повысить точность национальной системы высот 1985 года [8].

НУГК построил национальную фундаментальную гравиметрическую сеть в 1985 году, которая включала 6 точек абсолютной гравиметрии, 46 точек относительной гравиметрии и 163 точки гравиметрии первого класса. НУГК обновил его в 2003 году до «Национальной гравиметрической фундаментальной сети 2000». Фундаментальная гравиметрическая сеть 2000 состоит из 21 точки абсолютной гравиметрии, 126 точек относительной гравиметрии и 112 точек с точностью лучше  $\pm 10 \times 10^{-8}$  мс<sup>-2</sup>.

Создание национальной сети ГНСС ПДОС Китая является наиболее важной частью этого проекта. 360 ПДОС станция будет построена по всей стране, которые будут главными отсчетными основами национальной геодезической системы, включая 150 новых станций, 150 совместно используемых станций и 60 модифицированных станций. Среднее расстояние между этими станциями составит около 200–300 км в западном Китае, 150 км в северо-восточном Китае, а в восточном Китае, Центральном Китае и на юге - около 70–100 км. ПДОС будет поддерживать национальную трехмерную геоцентрическую систему координат, и приложения для позиционирования и навигации в реальном времени, а также будет предоставлять серверы с точной спутниковой орбитой и непрерывными высокоточными частотно-временными сигналами.

В настоящее время Китай разрабатывает спутниковую навигационную систему Beidou. 14 апреля 2007 года был успешно запущен первый спутник МЕО (Средиземная орбита) в Бэйду, который ознаменовал новый этап спутниковой навигационной системы Beidou. К 2020 году, КНР планирует, запустить в космос 35 спутников. Тем самым Beidou станет глобальной навигационной системой. В данный момент точность спутников по горизонтали составляет около 25 м, а радиальная - 30 м. Точность скорости составляет около 0,4 м / с, а точность синхронизации - около 50 нс. Система Beidou обладает теми же возможностями, что и другие системы GNSS, такие как GPS и ГЛОНАСС. Исследования показали, что Beidou может обеспечить позиционирование в реальном времени в несколько сантиметров, в то время как точность после обработки может быть улучшена до уровня сантиметров. Поскольку система Beidou

в настоящее время находится в стадии разработки, приемники совместимые с различными системами GNSS, будут установлены на национальных опорных станциях, поэтому опорные станции, использующие Beidou, будут равномерно распределяться по территории страны [8].

В будущем КНР планирует с помощью спутниковых технологий улучшить высотную и гравиметрическую основу страны.

Таким образом, мировая практика показывает, что спутниковые геодезические сети открывают большие возможности для развития отрасли геодезии и картографии, позволит выполнить интегрирование всех пространственных данных в одну систему координат, даст импульс для разработки инфраструктуры пространственных данных (ИПД).

В целях реализации вышеперечисленных направлений крайне актуальным для Республики Казахстан является формирование единого координатного пространства, сокращение сроков доставки координатных данных до потребителей, повышение точности и эффективности геодезических работ.

Поэтому, в настоящее время перед геодезической службой республики стоит сложная задача, выбора оптимального пути перестройки системы геодезического обеспечения страны, установления высокоточной системы координат, основанной на применении спутниковых технологий [9]. Вместе с тем необходимо предусмотреть использование существующей государственной геодезической сети (далее – ГГС), которую в некоторых районах предстоит модернизировать, чтобы ее точность соответствовала современным требованиям.

#### **Список использованных источников**

1. Болсуновский М.А. выступление на GisForum, <https://www.geoinfo.ru/product/bolsunovskij-mihail-aleksandrovich/geoindustriya-3-0-4-0-chto-zhdet-rynok-cherez-15-let-37742.shtml>
2. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 декабря 2002 г. № 1403 «Об установлении единых государственных систем координат, высот, гравиметрических и спутниковых измерений, а также масштабного ряда государственных топографических карт и планов. «Высшая геодезия», Л.В. Огородовой. Москва 2008
3. Система геодезических параметров Земли "Параметры Земли 1990 года"(ПЗ-90). Справочный документ / Под общей ред. В.В. Хвостова. — М.: КНИЦ, 1998.
4. ГОСТ Р 51794-2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М., Госстандарт России, 2001.
5. Машимов М.М. Чиновники убеждают россиян, что в своем Отечестве нет пророков. Комментарий к открытому письму ученых и специалистов Российской Федерации Исполняющему обязанности Президента РФ, Председателю Правительства РФ (февраль 2000 г.). — <http://navi-gator.irk.ru/news/pismo.html#2>
6. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). ГКИНП (ГНТА)-06-278-04. — М.: ЦНИИГАиК, 2004.
7. Information by Dr. Wen Hanjiang, Senior Researcher, Chinese Academy of Surveying and Mapping
8. Состояние и актуальные проблемы ГГС Республики Казахстан В.К. Андреев, М.Э. Джанпеисов, Е.В. Новиков, М.Ж. Сагындык, У.Д. Самратов, В.Н. Филатов, К.Б. Хасенов, В. В. Хвостов Геопрофи №6, 2012, Москва, стр.12-17.