

УДК 528.235/236

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-15-30

Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011

А. В. Котельников¹, В. И. Обиденко²✉

¹Общество с ограниченной ответственностью «Иркутская нефтяная компания»,
г. Иркутск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: ovi62@yandex.ru

Аннотация. В статье излагается опыт разработки и практического применения в интересах крупного недропользователя трех местных систем координат «гибридного» вида, покрывающих площадь 328 827,8 км², в качестве целевых систем координат, в которых выступали действующие единые МСК субъектов Российской Федерации, основанные на СК-42, уточненные относительно ГСК-2011. Приводятся технологические особенности разработки «гибридных» местных систем координат, касающиеся точности преобразования плоских прямоугольных координат между зонами такой МСК, а также новая методология образования зон «гибридной» МСК и осуществления пересчета плоских прямоугольных координат между ними. Показано, что единое координатное пространство, созданное вновь установленными «гибридными» МСК-ИНК-14/24/38, решает главную проблему заказчика – обеспечение возможности точного определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, которые часто имеют существенную протяженность. В процессе исследований установлено, что после уточнения МСК субъектов РФ относительно ГСК-2011 их точность сохранилась на уровне точности материнской системы координат СК-42, существенно не приблизившись по этому показателю к ГСК-2011. По этой причине совпадение плоских прямоугольных координат во вновь созданных «гибридных» МСК с целевыми МСК произошло лишь с СКП порядка $\pm 1,2$ м, при этом отдельные их расхождения достигают величины 5,7 м.

Ключевые слова: «гибридная» местная система координат, государственная геодезическая система координат 2011 года, ГСК-2011, единое координатное пространство, преобразование пространственных данных, СК-42

Для цитирования:

Котельников А. В., Обиденко В. И. Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 15–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-15-30

Введение

Проблематике построения и развития глобальных, национальных, региональных и местных систем координат, а также выработки методологии адаптации к ним действующей инфраструктуры геодезического обеспечения процессов создания пространственных данных в интересах различных сфер деятельности посвящено множество работ как отечественных

[1–9], так и зарубежных исследователей [10–12]. Одним из вариантов такой адаптации действующих местных систем координат (МСК) к установленной в нашей стране государственной системе координат 2011 года (ГСК-2011) (Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы : Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240. –

URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) является применение «гибридных» МСК.

В работах [13–16] приведены теоретическое обоснование и методология создания, а также изложены возможности и перспективы применения «гибридных» местных систем координат, устанавливаемых в виде пространственных систем координат. В них показано, что такие «гибридные» МСК_2011 (ЦСК), создаваемые от ГСК-2011, имеют два достоинства: а) за счет использования в качестве параметров перехода (ключей) от ГСК-2011 к «гибридной» МСК элементов пространственного ортогонального семипараметрического трансформирования, точность координат в МСК_2011(ЦСК) соответствует точности ГСК-2011; б) за счет специального вида таргетирования при определении параметров перехода (ключей) от ГСК-2011 к «гибридной» МСК последняя обеспечивает совпадение плоских прямоугольных координат в ней и в целевой системе координат (ЦСК) даже при использовании в них разных эллипсоидов: эллипсоида ГСК-2011 в МСК_2011 (ЦСК) и эллипсоида Красовского в ЦСК. При этом подчеркивается, что точность определения параметров перехода от ГСК-2011 к «гибридной» МСК и степень совпадения вычисленных с их использованием плоских прямоугольных координат в МСК_2011(ЦСК) и в ЦСК зависит от взаимной точности ГСК-2011 и ЦСК. Так, при выборе СК-95 или созданной от нее местной системы координат (МСК_95/МСК-NN_95, где NN – код субъекта РФ в общероссийском классификаторе) в качестве целевой системы координат точность совпадения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и ЦСК может достигать СКП $\pm 5\text{--}7$ см для субъекта Российской Федерации, простирающегося по долготе до 12° [15, 16].

В то же время вышеуказанные достоинства «гибридной» МСК имеют ценность не только при максимальном срабатывании обоих вышеуказанных а) и б) факторов, но и в случае, когда точность совпадения координат в «гибридной» МСК и ЦСК низкая, например, когда создается «гибридная» МСК_2011(42)/МСК_2011(МСК-NN_42)/-

МСК_2011(МСК_42), где в качестве ЦСК выступает система координат 1942 г. (СК-42) (О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР: Постановление Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года № 760. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) или созданные от нее МСК-NN_42/МСК_42 соответственно. В этом случае приоритетной ценностью «гибридной» МСК для потребителя выступает тот факт, что она имеет точность ГСК-2011, а фактор совпадения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и ЦСК становится для него дополнительным «бонусом», который хорош настолько, насколько на территории «гибридной» МСК взаимно точны и согласованы ГСК-2011 и СК-42.

Целью настоящей работы является изложение практического опыта разработки, установления и введения в действие в интересах крупного недропользователя трех «гибридных» МСК, образованных от ГСК-2011, целевыми в которых взяты единые МСК-NN_42 субъектов Российской Федерации.

Материалы и методы

В настоящее время в субъектах Российской Федерации действуют установленные Приказом Роснедвижимости от 18.06.2007 № П/0137 (Об утверждении Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации : Приказ Роснедвижимости от 18.06.2007 № П/0137. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) единые местные системы координат регионов МСК-NN, в которых в соответствии с (О государственной регистрации недвижимости : федеральный закон Российской Федерации от 03.07.2015 N 218-ФЗ. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) осуществляется ведение Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН), согласно (Об утверждении свода правил «Инженерные изыскания при планировке территорий. Общие требования» : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 25.02.2019 № 127/пр. – URL: [16](http://www.con-</p>
</div>
<div data-bbox=)

sultant.ru. – Текст : электронный), производятся инженерно-геодезические работы в строительстве, создаются многие виды пространственных данных в интересах социально-экономического развития регионов. Общество с ограниченной ответственностью «Иркутская нефтяная компания» (ООО «ИНК»), являясь крупным недропользователем, с целью постановки на кадастровый учет инфраструктурных объектов, возводимых на лицензионных участках для обустройства месторождений, также выполняет работы в МСК-NN_42.

Постановка возводимых объектов инфраструктуры на кадастровый учет – важная, но не единственная цель использования МСК в ООО «ИНК». Для текущей деятельности компании критически важно, чтобы используемая местная система координат обеспечивала возможность точного определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, которые часто имеют существенную протяженность. Однако действующие в зоне расположения лицензионных участков недр компа-

нии МСК-NN_42, основанные на СК-42, в которых ведется ЕГРН, и за неимением альтернативы вынуждено осуществлять свою деятельность ООО «ИНК», из-за существенных и неоднородных деформаций материнской системы координат СК-42 такой возможности не обеспечивают: вычисленные по координатам в МСК-NN_42 геометрические параметры объектов инфраструктуры и их пространственное положение существенно не совпадает с теми результатами, что получаются из геодезических измерений современными средствами спутниковой геодезии и ГНСС в ГСК-2011.

В этой связи ФГБОУ ВО «СГУГиТ» по заказу ООО «ИНК» были разработаны 3 местных системы координат «гибридного» вида на территории расположения объектов инфраструктуры компании, находящихся в Красноярском крае, Иркутской области и Республике Саха (Якутия), в совокупности покрывающих площадь 328 827,8 км²; схема расположения МСК показана на рис 1.



Рис. 1. Схема расположения разработанных «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38

Данный «гибридный» вид местной системы координат был выбран заказчиком исходя из декларируемых разработчиком (СГУГиТ) ее возможностей – обеспечение идентичной точности в МСК и ГСК-2011, что является для ООО «ИНК» приоритетной целью. Кроме того, для максимального приближения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в МСК-NN_42, действующих в зоне установления МСК, в качестве целевых в «гибридной» МСК были взяты

версии МСК-NN_42, уточненные в 2016–2022 гг. ППК «Роскадастр» относительно ГСК-2011. Обозначим их далее «МСК-NN_42_уточн».

Исходя из общих правил обозначения «гибридной» местной системы координат – МСК_2011(ЦСК), где «ЦСК» – это целевая система координат, в качестве которых на объекте работ выступали действующие здесь МСК-14_уточн, МСК-24_уточн, МСК-38_уточн, разрабатываемые МСК должны

были получить формальные наименования МСК_2011 (МСК-14_уточн), МСК_2011 (МСК-24_уточн), МСК_2011 (МСК-38_уточн) соответственно. Однако такие названия, показывая морфологию строения «гибридных» МСК, неудобны в использовании, поэтому МСК были названы МСК-ИНК-14, МСК-ИНК-24, МСК-ИНК-38 соответственно. Это делает их отличными по наименованию от действующих единых региональных МСК-NN_42, при этом указывает на заказчика-инициатора разработки МСК.

В соответствии с общей методологией создания «гибридной» МСК [13–16] схема создания таковой на объекте работ показана на примере создания зоны 3 гибридной МСК-ИНК-24, которая является самой вытянутой по длине МСК, создаваемой на объекте (см. рис. 1). Следует отметить, что в зоне создания МСК-ИНК-24 для ведения ЕГРН непосредственно МСК-24 не используется, а для этого применяются 3° МСК: МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171. Поэтому для каждой из зон № 1–5 МСК-ИНК-24 в качестве ЦСК выбиралась соответствующая (территориально совпадающая с ней) действующая МСК, уточненная относительно ГСК-2011: МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн соответственно.

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, плоские прямоугольные координаты $x_{МСК169}$, $y_{МСК169}$ опорных пунктов ГГС,

расположенных в зоне создания «гибридной» МСК-ИНК-24, полученные из Федерального фонда пространственных данных (ФФПД) в МСК-167_уточн – МСК-171_уточн, были преобразованы в единую для всей зоны действия «гибридной» МСК – МСК-169_уточн. Для такого пересчета (максимальное удаление от осевого меридиана зоны составляет 12°) использовалось ПО «Кредо Траскор». В [15] показано, что погрешность преобразования координат из геодезических в плоские прямоугольные в этом ПО при удалении от осевого меридиана зоны до 9° не превышает 1 см, а в документации для ПО [17, стр. 47] декларируется, что эта точность выдерживается при таком удалении до 40°. С целью проверки этой декларируемой точности в работе выполнено сравнение результатов пересчета координат из геодезических в плоские прямоугольные координаты в этом ПО и по формулам для «широкой полосы» из [18, стр. 253] при удалении от осевого меридиана зоны до 20°. Как показано в [19], при существенном удалении от осевого меридиана зоны применение формул проекции Гаусса – Крюгера «для широкой полосы» из [18], выведенных в [20, с. 11] путем разложения в ряды Фурье с применением круговых и гиперболических тригонометрических функций, наиболее целесообразно. Результаты сравнения приведены в табл. 1, 2.

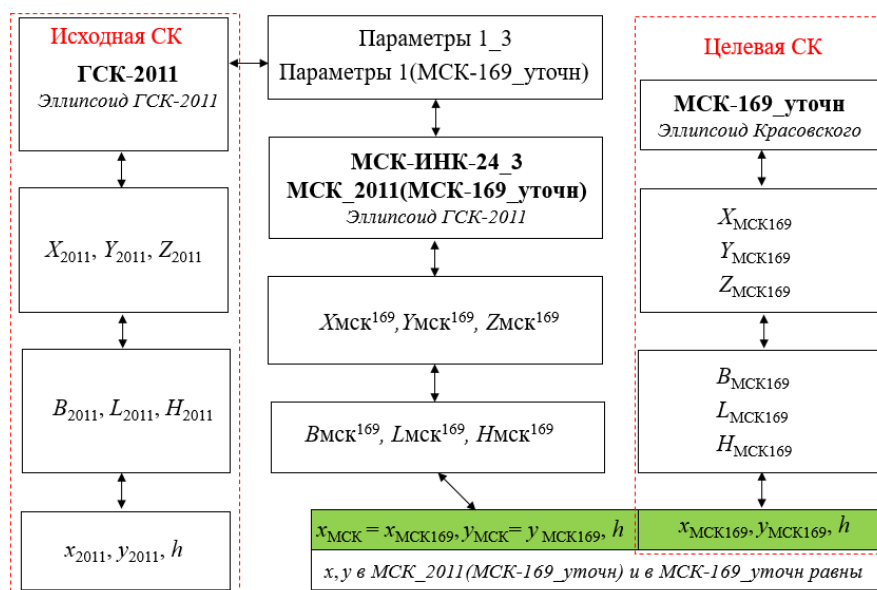


Рис. 2. Схема создания «гибридной» МСК-ИНК-24, зона 3 (МСК-ИНК-24_3)

Таблица 1

Сравнение результатов пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 СК-42/СК-95

Удаление, l°	«Кредо Транскор»		В. П. Морозов (формулы)		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
5	3 330 721,2514	482 747,8773	3 330 721,2516	482 747,8772	–0,2	0,1
10	3 362 653,5123	967 342,8837	3 362 653,5125	967 342,8837	–0,2	0,0
20	3 494 787,8219	1 949 353,0793	3 494 787,8221	1 949 353,0792	–0,2	0,1

Примечание: * – ордината дана без условного смещения на восток и без номера зоны.

Таблица 2

Сравнение результатов пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 ГСК-2011

Удаление, l°	«Кредо Транскор»		В. П. Морозов (формулы)		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
5	3 330 661,7515	482 739,7246	3 330 661,7517	482 739,7246	–0,2	0,0
10	3 362 593,4736	967 326,5493	3 362 593,4738	967 326,5493	–0,2	0,0
20	3 494 725,5601	1 949 320,1784	3 494 725,5604	1 949 320,1783	–0,3	0,1

Примечание: * – ордината дана без условного смещения на восток и без номера зоны.

Как видно из табл. 1, 2, ПО «Кредо Транскор» обеспечивает погрешность пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные менее 1 см при удалении от осевого меридиана зоны до 20° , что гарантированно обеспечивает такую точность при создании всех «гибридных» МСК на объекте.

Далее плоские прямоугольные координаты $x_{МСК169}$, $y_{МСК169}$ опорных пунктов ГГС в МСК-169_уточн, находящихся на территории МСК-ИНК-24 (формально они переименовываються в координаты $x_{МСК}$, $y_{МСК}$ уже в «гибридной» МСК, поскольку по условиям создания такой МСК они равны), были преобразованы (по параметрам эллипсоида ГСК-2011, используемого в «гибридной» МСК и по параметрам проекции, применяемой в целевой системе координат МСК-169_уточн) в «гибридные» геодезические координаты $B_{МСК}^{169}$, $L_{МСК}^{169}$, $H_{МСК}^{169}$ и далее в «гибридные» же пространственные прямоугольные координаты $X_{МСК}^{169}$, $Y_{МСК}^{169}$, $Z_{МСК}^{169}$ в МСК-ИНК-24_3 (см. рис. 2).

Координаты опорных пунктов ГГС в ГСК-2011 были получены установленным образом из ФФПД в виде плоских прямоугольных координат x_{2011} , y_{2011} и нормальной высоты h , которые стандартным путем в ПО «Кредо Транс-

кор» были преобразованы в пространственные прямоугольные координаты X_{2011} , Y_{2011} , Z_{2011} (см. рис. 2). Следует отметить, что при преобразовании плоских прямоугольных координат в геодезические в ГСК-2011 и в МСК-ИНК-24 нормальная высота h опорных пунктов ГГС была принята в качестве геодезической H . Как показано в [14–16], такое игнорирование ондуляции квазигеоида (на объекте она составляет величину порядка 30 м) приводит к повышению погрешности определения высотной компоненты определяемых Параметров 1(МСК-169_уточн), однако не влияет на точность вычисления по ним плановых (плоских прямоугольных и геодезических) координат.

Вопрос оптимальности выбора опорных пунктов ГГС для определения параметров преобразования между ГСК-2011 и «гибридной» МСК является важным, и в общем случае это должно быть достаточное количество пунктов ГГС, равномерно покрывающих территорию создания МСК, координаты которых в ГСК-2011 определены с высокой точностью из спутниковых наблюдений. Однако в связи с тем, что на территории создания гибридных ГСК такие (спутниковые) пункты ГГС отсутствовали, в качестве опорных были выбраны все имеющиеся в границах создава-

емых МСК пункты ГГС. При этом также преследовалась цель получить на каждом пункте ГГС величину несовпадения координат в «гибридной» МСК и в ЦСК.

Оценка точности определения параметров преобразования между ГСК-2011 и «гибридной» МСК_2011(МСК-NN_42_уточн) заключалась в том, что с их использованием от координат опорных пунктов ГГС в ГСК-2011 вычислялись плоские прямоугольные координаты в «гибридной» МСК, которые сравнивались с их каталожными плоскими прямоугольными координатами в целевой системе координат МСК-NN_42_уточн, полученными из ФФПД.

Важным аспектом в разработке «гибридной» МСК является то, что преобразование плоских прямоугольных координат между ее зонами в связи со спецификой такой МСК имеет технологические особенности. Так, преобразование плоских прямоугольных координат из зоны 1 в зону 2 в плоских многозональных системах координат (СК) является рутинной операцией и осуществляется путем пересчета: x_1, y_1 в зоне 1 $\rightarrow$ геодезические координаты относительно осевого меридиана зоны 1 $\rightarrow$ геодезические координаты относительно осевого меридиана зоны 2 $\rightarrow x_2, y_2$ в зоне 2. Однако для создания «гибридной» МСК (покажем это на примере МСК-ИНК-24) применен новый вид пространственной, таргетированной МСК. МСК-ИНК-24 является промежуточной между ГСК-2011 (используется эллипсоид ГСК-2011) и МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171 (используется эллипсоид Красовского) и нацелена на обеспечение совпадения плоских прямоугольных координат в ней и в целевых системах координат МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171. При этом в самой МСК-ИНК-24 используется тот же эллипсоид, что и в ГСК-2011, т. е. эллипсоид ГСК-2011. Таким образом, если попробовать пересчитать плоские прямоугольные координаты, относящиеся, например, к зоне № 3 МСК-ИНК-24 (совпадают с плоскими прямоугольными координатами в МСК-169) в смежную зону № 4 (в которой плоские прямоугольные координаты должны совпадать с плоскими прямоугольными координатами в МСК-170), используя при этом для задания зоны № 4 МСК-ИНК-24 параметры МСК-170, то полученный результат даст плоские прямоугольные координаты, не совпадающие с аналогичными координатами в МСК-170 на суще-

ственные величины (от 1 до 10 м по осям абсцисс и ординат соответственно). Так получается потому, что для пересчета в смежную зону в МСК-ИНК-24 будут использоваться параметры эллипсоида ГСК-2011, в то время как для зоны МСК-170, смежной по отношению к МСК-169, применяется эллипсоид Красовского. Указанная разница в 1–10 м в плоских прямоугольных координатах является следствием использования в формулах для пересчета координат из одной зоны в другую разных геометрических параметров эллипсоидов ГСК-2011 и Красовского.

Для получения плоских прямоугольных координат в зоне № 4 МСК-ИНК-24, совпадающих с плоскими прямоугольными координатами в ЦСК – МСК-170, на объекте применен инновационный подход. Технология создания «гибридной» МСК предполагает для определения параметров перехода от ГСК-2011 к «гибридной» МСК преобразование плоских прямоугольных координат в единую зону целевой системы координат (ЦСК) для дальнейшего их проецирования на эллипсоид ГСК-2011 по законам проекции Гаусса – Крюгера по параметрам этой единой зоны с целью получения геодезических, а затем и пространственных прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 (см. рис. 2). Таким образом, выбор зоны целевой МСК, которая станет единой зоной для МСК-ИНК-24, и определит ту зону, в которой будет создана МСК-ИНК-24. При выборе для МСК-ИНК-24 МСК-169_уточн в качестве ЦСК будут определены Параметры 1(МСК-169_уточн) перехода между ГСК-2011 и МСК-ИНК-24, зона 3 (обозначим ее МСК-ИНК-24 3) (см. рис. 2). При выборе для МСК-ИНК-24 в качестве целевой другой МСК (МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн) будут определены параметры перехода между ГСК-2011 и другими зонами МСК-ИНК-24 (зоны 1, 2, 4, 5 с обозначением МСК-ИНК-24 1, МСК-ИНК-24 2, МСК-ИНК-24 4, МСК-ИНК-24 5 соответственно).

Таким образом, в отличие от плоских МСК, «гибридная» МСК-ИНК-24 имеет для каждой своей зоны отдельный датум, в котором используется один и тот же эллипсоид ГСК-2011, однако его положение в пространстве будет разным. То есть чтобы компенсировать различие в размерах эллипсоидов ГСК-2011 и Красовского, применяемых в МСК-ИНК-24 и в целевых МСК (МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171), при переходе от одной зоны «гибридной»

МСК к другой ее зоне следует так изменить пространственное положение эллипсоида ГСК-2011 в МСК-ИНК-24 относительно эллипсоида ГСК-2011 в ГСК-2011 (и определить 7 параметров этого положения эллипсоида в «гибридной» МСК относительно эллипсоида в ГСК-2011), чтобы вычисленные по этим параметрам плоские прямоугольные координаты в данной зоне МСК-ИНК-24 и в соответствующей зоне целевой МСК совпали.

В связи с вышеизложенным отличием понятия зон в традиционной (плоской) МСК от трактовки зон в «гибридной» МСК, для каждой зоны «гибридной» МСК должны быть вычислены свои параметры перехода к ГСК-2011, что и сделано на объекте работ: определены Параметры 1_1, Параметры 1_2, Параметры 1_3, Параметры 1_4, Параметры 1_5 преобразования между ГСК-2011 и зонами № 1-5 МСК-ИНК-24 соответственно, которые обозначаются МСК-ИНК-24_1, МСК-ИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5. Плоские прямоугольные координаты в этих зонах МСК-ИНК-24 совпадают соответственно с плоскими прямоугольными координатами в МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171, уточненными относительно ГСК-2011 (МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн) (рис. 3). Следует при этом отметить, что Параметры 1 для каждой из зон МСК-ИНК-24 будут отличаться, однако точность их получения будет идентичной, поскольку для определения этих параметров

использован единый набор из 1 829 опорных пунктов ГГС, расположенных на территории МСК-ИНК-24, координаты которых для этого в виде плоских прямоугольных координат были преобразованы в каждую из соответствующих зон целевых МСК.

Таким образом, с учетом наличия у каждой из зон МСК-ИНК-24 своих параметров связи с ГСК-2011, преобразование между ГСК-2011 и зонами МСК-ИНК-24 осуществляется по схеме, показанной на рис. 3. Пользоваться такой технологией преобразования между ГСК-2011 и зонами МСК-ИНК-24 очень просто. Для этого каждая из зон МСК-ИНК-24 описывается в соответствующем ПО ГИС как отдельная МСК: ей задается свой датум (желательно во избежание путаницы его наименование давать идентичным самой зоне МСК-ИНК-24) и описываются свои параметры картографической проекции. Преобразование из ГСК-2011 в соответствующую зону МСК-ИНК-24 осуществляется в ПО ГИС выбором нужной целевой системы координат: МСК-ИНК-24_1, МСК-ИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5. То есть называемые зонами МСК-ИНК-24 (МСКИНК-24_1, МСКИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5) фактически являются самостоятельными СК с полным набором атрибутов СК: эллипсоидом, его датумом и параметрами картографической проекции с эллипсоида на плоскость.

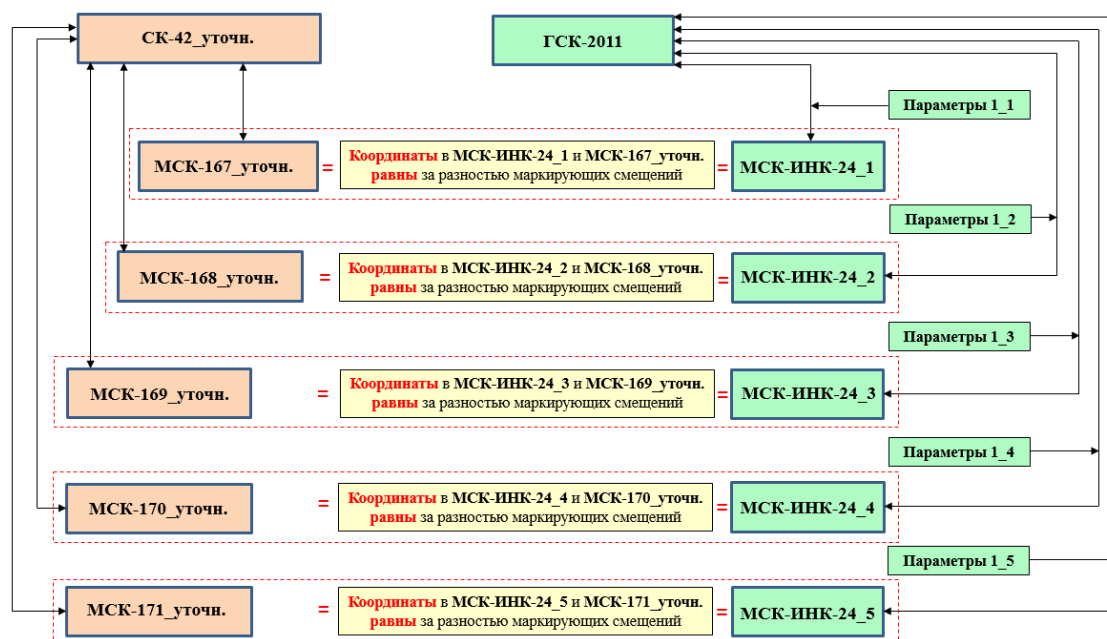


Рис. 3. Схема координатных преобразований между ГСК-2011 и зонами № 1-5 «гибридной» МСК-ИНК-24 с использованием инновационного подхода

Использование разработанных «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38 в текущей деятельности заказчика является очень удобным, так как они позволяют сохранить все ранее созданные в МСК-NN 42 уточн пространственные данные (ПД) без необходимости их пересчета: будучи представленными в виде плоских прямоугольных координат в обеих СК, эти ПД легко интегрируемы между собой. Вместе с тем, понимая, что ПД, создаваемые в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, имеют точность ГСК-2011, т. е. существенно выше, чем ПД, созданные ранее в МСК-NN_42 уточн, заказчик счел необходимым ввести в параметры проекции вновь разработанных МСК маркирующие смещения, делающие плоские прямоугольные координаты в МСК-ИНК-14/24/38 визуально отличимыми от используемых на объекте МСК-NN 42 уточн. Такие маркирующие смещения легко убираются в любом ПО ГИС при необходимости интеграции ПД, представленных в виде плоских прямоугольных координат в МСК-ИНК-14/24/38 и в МСК-14 уточн, МСК167 уточн, МСК168 уточн, МСК169 уточн, МСК170 уточн, МСК171 уточн, МСК 38 уточн. Однако эти ПД по виду плоских прямоугольных координат можно различить по их происхождению и по точности.

Результаты и обсуждение

По вышеуказанной методологии на объекте работ определены Параметры 1 преобразования между ГСК-2011 и каждой из 11 зон

вновь установленных трех «гибридных» МСК с использованием следующего количества опорных пунктов ГГС: 809 в МСК-ИНК-14, 1 829 в МСК-ИНК-24, 1 724 в МСК-ИНК-138 (рис. 4–6). Величины расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, вычисленных путем преобразования из ГСК-2011 с использованием этих Параметров 1, с их каталожными значениями в МСК-14_уточн/МСК-24_уточн/МСК-38_уточн соответственно, полученными из ФФПД, приведены в табл. 3–8 и рис. 4–6.

Таблица 3

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,0–0,5	194	10,6
0,5–1,0	579	31,7
1,0–1,5	587	32,1
1,5–2,0	386	21,1
2,0–2,5	60	3,3
2,5–3,0	13	0,7
3,0–3,407	10	0,5

Таблица 4

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	1,63	2,88	3,41
Минимальное	–2,69	–2,34	0,01
Среднее	0,00	0,02	1,14
СКП совпадения	0,84	0,94	1,26

Как видно из табл. 3, 4 и рис. 4, только 10,6 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 м и 1,0–1,5 м попадают 31,7 и 32,1 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 3,0–3,407 м (таковых 10 или 0,5 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн составила $\pm 1,26$ м (см. табл. 4).

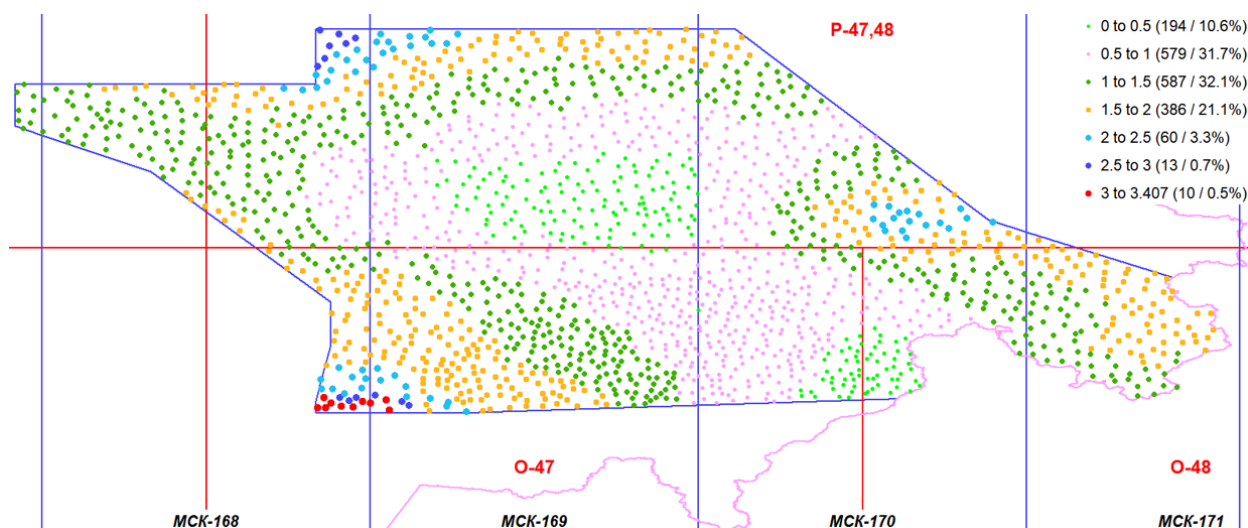


Рис. 4. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Таблица 5

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,061–0,5	224	27,7
0,5–1,0	269	33,3
1,0–1,5	188	23,2
1,5–2,0	87	10,8
2,0–2,5	17	2,1
2,5–3,0	9	1,1
3,0–3,5	9	1,1
3,5–5,701	6	0,7

Таблица 6

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	2,58	5,69	5,70
Минимальное	–2,75	–2,39	0,06
Среднее	0,01	0,00	0,95
СКП совпадения	0,74	0,92	1,18

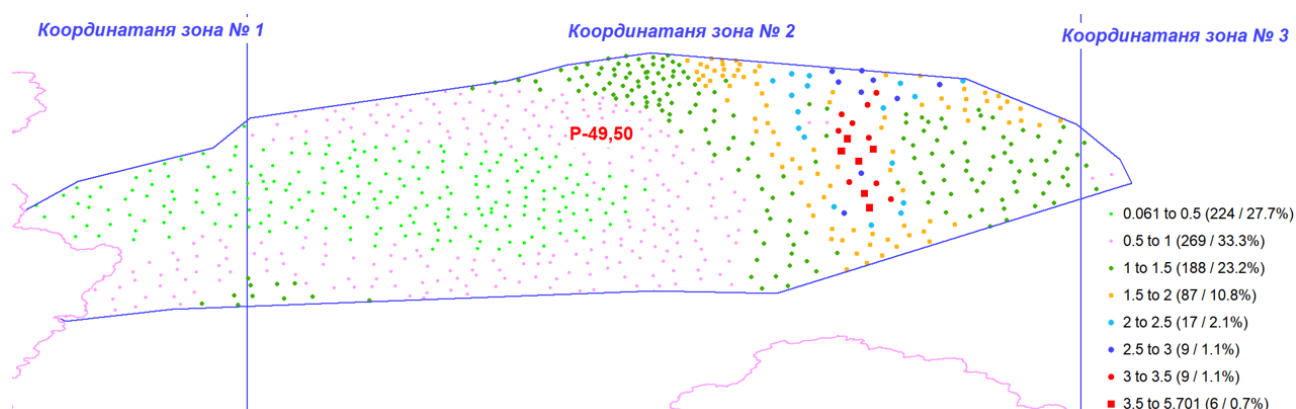


Рис. 5. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Как видно из табл. 5, 6 и рис. 5, только 27,7 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 и 1,0–1,5 м попадают 33,3 и 23,2 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 3,5–5,701 м (таковых 6 или 0,7 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн составила $\pm 1,18$ м (см. табл. 6).

Таблица 7

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,028–0,5	438	25,4
0,5–1,0	629	36,5
1,0–1,5	405	23,5
1,5–2,0	140	8,1
2,0–2,5	84	4,9
2,5–2,923	28	1,6

Таблица 8

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	1,21	2,69	2,92
Минимальное	–1,68	–2,11	0,03
Среднее	0,01	0,00	0,94
СКП совпадения	0,52	0,95	1,09

Как видно из табл. 7, 8 и рис. 6, только 25,4 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 и 1,0–1,5 м попадают 36,5 и 23,5 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 2,5–2,923 м (таких 28, или 1,6 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн составила $\pm 1,09$ м (см. табл. 8).

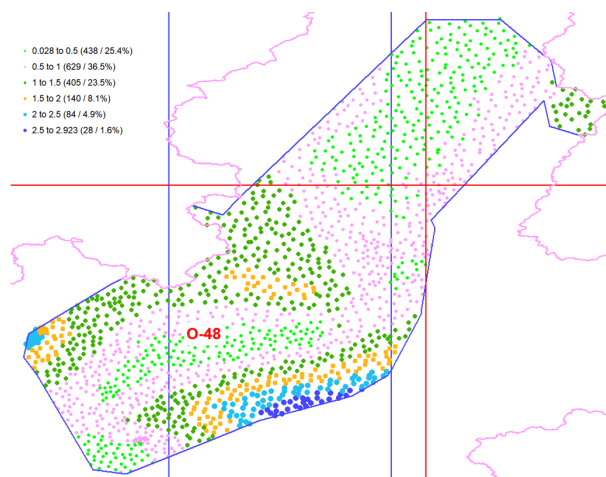


Рис. 6. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Очевидно, что причиной вышеуказанных различий плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, имеющих точность ГСК-2011, с координатами в действующих МСК ведения ЕГРН, уточненных относительно ГСК-2011 (МСК-14_уточн, МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн, МСК-38_уточн) являются деформации последних, которые и после уточнения остались на уровне, близком к точности материнской системы координат СК-42. Можно себе представить те сложности, которые испытывает потребитель, который проектирует и строит единый протяженный объект (допустим, трубопровод длиной 1 000 км) в таком низкоточном и неоднородном координатном пространстве, базирующемся на действующих МСК ведения ЕГРН. При определении размеров такого протяженного линейного сооружения и выноске его в натуру из проектного положения в действующих МСК-NN_42_уточн, ошибки пространственного положения и геометрических параметров подобного объекта инфраструктуры могут достигать 3–5 м на всем его протяжении и величин 0,5–1 м при расстоянии 50 км.

Как показали проведенные исследования, действующие МСК-NN_42, применяе-

мые для ведения ЕГРН на объекте работ, даже после их уточнения относительно ГСК-2011 не удовлетворяют требованиям по точности пространственного размещения и определения геометрических параметров протяженных линейных сооружений. В этой связи применение разработанных СГУГиТ «гибридных» МСК-ИК-14/24/38, обеспечивающих создание на территории расположение инфраструктурных объектов ООО «ИНК» единого координатного пространства, соответствующего точности ГСК-2011, является решением вышеуказанных проблем.

Если на карте расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн (см. рис. 6) выделить пункты ГГС 1-го класса (рис. 7), то на примере МСК-ИНК-38 можно видеть, что зоны большого отличия координат приурочены к стыкам блоков триангуляции 1-го класса. Только на севере МСК-ИНК-38 стык блоков триангуляции 1-го класса не сопровождается существенными деформациями, в то время как оставшиеся 3 стыка порождают локальные деформации координат, достигающие 1,5–3 м. Это дополнительно свидетельствует о том, что причиной низкой сходимости плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС во вновь установленных «гибридных» МСК с аналогичными координатами в действующих МСК-NN_42_уточн являются именно погрешности и деформации последних. Таким образом, аннотация ППК «Роскадастр» введения новой версии МСК субъектов Российской Федерации, уточненных относительно ГСК-2011 (МСК-NN_уточн), приведенная на сайте [21] («В ходе уравнивания минимизированы локальные деформации МСК субъектов, вызванные как случайными ошибками, так и технологией блочного уравнивания СК-42»), на объекте работ, к сожалению, не подтверждается фактическими данными: МСК-NN_42 регионов, уточненные относительно ГСК-2011, и после такого уточнения существенно не приблизились по своей точности к точности ГСК-2011.

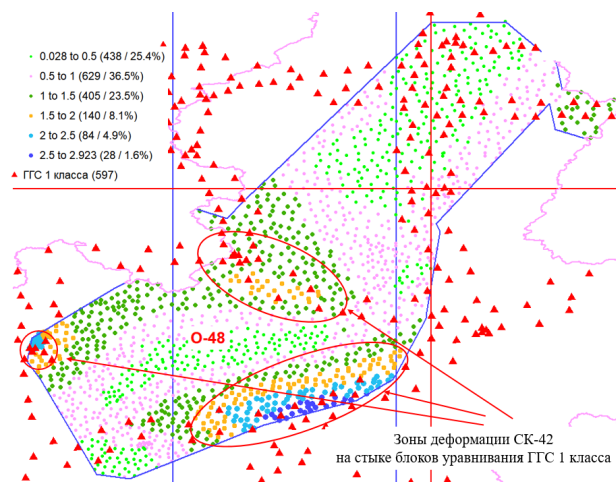


Рис. 7. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн, с выделением пунктов ГГС 1-го класса

С другой стороны, вышеприведенный материал иллюстрирует, насколько вновь установленные «гибридные» МСК-ИНК-14/24/38 точнее действующих МСК-NN_42_уточн, и каких погрешностей действующих МСК-NN_42_уточн удастся избежать с их применением при решении задач определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры ООО «ИНК», расположенных в Иркутской области, Красноярском крае и Республике Саха (Якутия).

Для удобства заказчика при постановке объектов инфраструктуры на кадастровый учет подрядчиком были переданы ведомости погрешностей преобразования координат из МСК-ИНК-14/24/38 в действующие МСК-NN_42_уточн, содержащие фактические значения расхождений координат во вновь установленных «гибридных» МСК с координатами в действующих МСК-NN_42_уточн на каждом из опорных пунктов ГГС, участвовавшем в определении Параметров 1. Такие данные наряду с приведенными картами (см. рис. 4–6) представляют собой детальную информацию о деформации координат действующих МСК-NN_42_уточн по отношению к МСК-ИНК-14/24/38 на каждом из пунктов ГГС и будут использованы заказчиком при анализе и согласовании координат в действующих МСК-

NN_42_уточн и вновь установленных МСК на этапе учета объектов инфраструктуры в ЕГРН.

Заключение

Построение единого высокоточного координатного пространства в зоне деятельности ООО «ИНК» являлось для него актуальной проблемой в свете того, что действующие на данной территории местные системы координат субъектов Российской Федерации (МСК-NN_42_уточн) не решали эту задачу. Деформации координат пунктов ГГС в МСК-NN_42_уточн на территории лицензионных участков компании достигают нескольких метров, что не соответствует требованиям по точности определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, имеющих существенную протяженность.

В этой связи «гибридные» МСК-ИНК-14/24/38, разработанные СГУГиТ и в соответствии с (Об утверждении порядка установления местных систем координат : Приказ Росреестра 20.10.2020 № п/0387. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), введенные в действие в 2024 г., решают эту задачу полноценно, поскольку точность создаваемого этими МСК единого координатного пространства соответствует точности ГСК-2011 и все вновь создаваемые в них пространственные данные будут соответствовать точности этой ГСК. Кроме того, приближение плоских прямоугольных координат в «гибридных» МСК к действующим МСК-NN_42_уточн, которое на 27,7, 10,6, 25,4 % территории установленных МСК-ИНК-14/24/38 соответственно не превышает установленной в (Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного

участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23.10.2020 № П/0393. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) СКП (0,5 м) определения координат характерных точек границ недвижимого имущества на землях промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, землях для обеспечения космической деятельности, землях обороны, безопасности и землях иного специального назначения, на которых находятся объекты инфраструктуры ООО «ИНК», позволяет здесь пользоваться этими СК как идентичными.

На остальной площади «гибридных» МСК для постановки объектов недвижимости на кадастровый учет ООО «ИНК» вынуждено будет искажать их пространственное описание, сделанное в МСК-ИНК-14/24/38 с точностью ГСК-2011, до степени деформированности действующих МСК-NN_42_уточн до тех пор, пока действующие МСК-NN_42_уточн не будут полноценно адаптированы к ГСК-2011, с повышением их точности до точности ГСК-2011. Для этих целей предполагается использование методов нелинейного преобразования координат с использованием цифровых моделей в соответствии с Руководством (Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). ГКИНП (ГНТА)-06-278-04, утверждено приказом Роскартографии от 01.03.2004 № 29-пр. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горобец В. П., Ефимов Г. Н., Столяров И. А. Опыт Российской Федерации по установлению государственной системы координат 2011 года // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 24–37. – EDN UJYBOV.
2. Карпик А. П., Дорогова И. Е. Анализ мирового опыта ввода полудинамических систем координат и территориальных реализаций систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–26. – DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30. – EDN ULUZWW.

3. Кафтан В. И., Побединский Г. Г., Савиных В. П., Столяров И. А. Государственные системы координат: анализ состояния и перспективы // Науки о земле. – 2022. – № 1. – С. 51–62. – EDN ALCMQQ.
4. Мареев А. В. Результаты исследования матриц деформации координатной основы СК-42 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 7. – С. 14–23. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23. – EDN UZUZFB.
5. Нейман Ю. М., Сугатинова Л. С. Строгие методы преобразования систем координат // Геодезия и картография. – 2022. – № 9. – С. 21–29. – DOI 10.22389/0016-7126-2022-987-9-21-29. – EDN OGISOE.
6. Нехин С. С. Основные проблемные вопросы перевода картографического обеспечения в систему координат ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 38–47. – EDN UJYBPF.
7. Обиденко В. И. Единое высокоточное гомогенное координатное пространство территорий и местные системы координат: пути гармонизации // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 46–62. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-46-62. – EDN ERGUDE.
8. Попадьев В. В., Ефимов Г. Н., Зубинский В. И. Геодезическая система координат 2011 года // В науч.-техн. сб. Астрономия, геодезия и геофизика. – М. : Центр геодезии, картографии и ИПД, 2018. – С. 139–228. – EDN LYOZUI.
9. Шендрик Н. К. Методика преобразования трехмерных положений пунктов между геоцентрическими и референсными системами координат для региональных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–26.
10. Kotsakis C., Chatzinikos M. (2023) Terrestrial reference frames and their internal accuracy at coordinate system level. *Journal of Geodesy*, 97, 107. DOI: 10.1007/s00190-023-01801-6. – EDN BRSGHD.
11. Michael Dennis, U.S.A., The Future is Here: Introducing the State Plane Coordinate System of 2022, FIG Working Week 2023 Protecting Our World, Conquering New Frontiers Orlando, Florida, USA, 28 May–1 June 2023. – URL: https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2023/papers/cinema03/CINEMA03_dennis_12044.pdf.
12. Zeng H., Chang G., He H., Li K. WTLS iterative algorithm of 3D similarity coordinate transformation based on Gibbs vectors // *Earth, Planets and Space*. – 2020. – Vol. 72, No. 1. – P. 1–12. – DOI 10.1186/s40623-020-01179-1. – EDN NKRUWL.
13. Обиденко В. И. О сохранении фондов пространственных данных, созданных в СК-95, при переходе к ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 30–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43. – EDN NGXIUU.
14. Обиденко В. И. Новые возможности местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 3. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-993-3-2-13. – EDN SHOXYM.
15. Обиденко В. И. Перспективы применения гибридных местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 8. – С. 2–12. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-2-12. – EDN PAEYIF.
16. Обиденко В. И. Уточнение на базе ГСК-2011 местных систем координат субъектов Российской Федерации с применением методики создания гибридной местной системы координат // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 6. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-2-13. – EDN DAVKVS.
17. International Association of Oil & Gas Producers, OGP Publication 373-7-2. – *Geomatics Guidance Note number 7, part 2*. – July 2012 Coordinate Conversions and Transformations including Formulas <https://epsg.org/home.html>.
18. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии – М. : Недра, 1979. – 296 с.
19. Медведев П. А., Новодворская М. В. Анализ математических моделей вычисления прямоугольных координат в расширенных зонах проекции Гаусса – Крюгера // Геодезия

и картография. – 2017. – Т. 78, № 3. – С. 14–19. – DOI 10.22389/0016-7126-2017-921-3-14-19. – EDN YLMDRH.

20. Kruger L. Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene. Veroff des Preus. Geod. Inst., N. F., 52, Potsdam, 1912. – 172 s.

21. Сайт ППК «Роскадастр». – URL: <https://cgkipd.ru/press-office/news/stali-dostupny-dlya-predostavleniya-utochnennye-koordinaty-punktov-ggs-v-msk/>.

Об авторах

Арте́м Влади́мирович Котельников – директор департамента маркшейдерских работ Управления маркшейдерско-геодезических работ.

Влади́мир Ива́нович Обиденко – кандидат технических наук, проректор по СПО, директор техникума.

Получено 15.04.2025

© А. В. Котельников, В. И. Обиденко, 2025

Experience of practical application of «hybrid» local coordinate systems created on the basis of SCS-2011

A. V. Kotelnikov¹, V. I. Obidenko^{2✉}

¹Limited Liability Company Irkutsk Oil Company, Irkutsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: ovi62@yandex.ru

Abstract. The article presents the experience of development and practical application in the interests of a large subsoil user of 3 local coordinate systems of the “hybrid” type, covering an area of 328,827.8 sq. km, in which the target coordinate systems were the current unified LCSs of the subjects of the Russian Federation, based on SK-42, clarified in relation to GSK-2011. The paper presents the technological features of the development of “hybrid” local coordinate systems, concerning the accuracy of the transformation of flat rectangular coordinates between zones of such a local coordinate system, as well as a new methodology for the formation of zones of a “hybrid” local coordinate system and the recalculation of flat rectangular coordinates between them. It is shown that the unified coordinate space created by the newly installed “hybrid” LCS-INK-14/24/38 solves the customer’s main problem – ensuring the ability to accurately determine the spatial position and geometric parameters of infrastructure objects, which often have a significant length. During the research it was established that after the clarification of the LCS of the subjects of the Russian Federation in relation to the GSK-2011, their accuracy remained at the level of the parent coordinate system SK-42, without significantly approaching this indicator in relation to the GSK-2011. For this reason, the coincidence of flat rectangular coordinates in the newly created “hybrid” LCS with the target LCSs occurred only with a RMSE of about ± 1.2 m, while their individual discrepancies reached 5,7 m.

Keywords: «hybrid» local coordinate system, state geodetic coordinate system of 2011, GSK-2011, unified coordinate space, transformation of spatial data, SK-42

REFERENCES

1. Gorobets V. P., Efimov G. N., Stolyarov I. A. (2015). Experience of the Russian Federation in establishing the state coordinate system of 2011 *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 24–37 EDN UJYBOV [in Russian].

2. Karpik, A. P., Dorogova, I. E. (2024). Analysis of world experience in introducing semi-dynamic coordinate systems and territorial implementations of coordinate systems *Vestnik SGUGiT*

[*Vestnik SSUGT*], 4(29), 16–26 DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30. EDN ULUZWW [in Russian].

3. Kaftan, V. I., Pobedinskiy, G. G., Savinikh, V. P., Stolyarov, I. A. (2022). State coordinate systems: analysis of the state and prospects *Nauki o zemle [Earth Sciences]*. 1, pp. 51–62 EDN ALCMQQ [in Russian].

4. Mareev, A. V., (2023). Results of the study of deformation matrices of the coordinate base SK-42 *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 7, 14–23. DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23. EDN UZUZFB [in Russian].

5. Neiman, Yu. M., Sugaipova, L. S. (2022) On the coordinate systems transformation. *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 83 (9), pp. 21–29 DOI 10.22389/0016-7126-2022-987-9-21-29. EDN OGISOE [in Russian].

6. Nekhin, S. S. (2015). The main problematic issues of transferring cartographic support to the GSK-2011 coordinate system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 38–47 EDN UJYBPF [in Russian].

7. Obidenko, V. I. (2020). Unified high-precision homogeneous coordinate space of territories and local coordinate systems: ways of harmonization *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(25), 46–61 DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-46-62. EDN ERGUDE [in Russian].

8. Popad'ev, V. V., Efimov, G. N., & Zubinskii, V. I. (2018). The geodetic coordinate system of 2011. *V nauch.-tekhn. sb. Astronomiya, geodeziya i geofizika. – M.: Izd-vo FGBU «Tsentr geodezii, kartografii i IPD» [In scientific and technical collection Astronomy, geodesy and geophysics. Moskva: Izdatel'stvo FGBU «Tsentr geodezii, kartografii i IPD»]*, 139–228 EDN LYOZUI [in Russian].

9. Shendrik, N.K., (2024). Methodology for converting three-dimensional positions of points between geocentric and reference coordinate systems for regional territories *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(29), 16–26 [in Russian].

10. Kotsakis C., Chatzinikos M. (2023) Terrestrial reference frames and their internal accuracy at coordinate system level. *Journal of Geodesy*, 97, 107. DOI: 10.1007/s00190-023-01801-6. EDN BRSGHD.

11. Michael Dennis, U. S. A., The Future is Here: Introducing the State Plane Coordinate System of 2022, FIG Working Week 2023 Protecting Our World, Conquering New Frontiers Orlando, Florida, USA, 28 May–1 June 2023. Retrieved from https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2023/papers/cinema03/CINEMA03_dennis_12044.pdf.

12. Zeng H., Chang G., He H., Li K. (2020) WTLS iterative algorithm of 3D similarity coordinate transformation based on Gibbs vectors. *Earth, Planets and Space*, 72, 53. DOI: 10.1186/s40623-020-01179-1 EDN NKRUWL.

13. Obidenko, V. I., (2022). On the preservation of spatial data funds created in SK-95 during the transition to GSK-2011 *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(27), 30–43 DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43. EDN NGXIUU [in Russian].

14. Obidenko V. I., (2023). New capabilities of local coordinate systems created on the basis of GSK-2011 // *Geodezia i Kartografiya*, 84 (3), pp. 2–13 DOI 10.22389/0016-7126-2023-993-3-2-13. – EDN SHOXYM [in Russian].

15. Obidenko, V. I., (2023). Prospects for the application of hybrid local coordinate systems created on the basis of GSK-2011 *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 84 (8), pp. 2–12 DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-2-12. EDN PAEYIF [In Russian].

16. Obidenko, V. I., (2022). Refinement of local coordinate systems of subjects of the Russian Federation based on GSK-2011 using the methodology for creating a hybrid local coordinate system *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 85 (6), pp. 2–13 DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-2-13. EDN DAVKVS [in Russian].

17. International Association of Oil & Gas Producers, OGP Publication 373-7-2. – Geomatics Guidance Note number 7, part 2. – July 2012 Coordinate Conversions and Transformations including Formulas Retrieved from <https://epsg.org/home.html>.

18. Morozov, V. P. Course in spheroidal geodesy / V. P. Morozov. – M. : Nedra, 1979. – 296 p. [in Russian].
19. Medvedev P. A., Novodvorskaya M. V. (2017). Analysis of mathematical models for calculating rectangular coordinates in extended zones of the Gauss-Kruger projection *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 3, pp. 14–19 DOI 10.22389/0016-7126-2017-921-3-14-19. EDN YLMDRH [in Russian].
20. Kruger L. Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene. Veroff des Preus. Geod. Inst., N. F., 52, Potsdam, 1912. – 172 s.
21. Website of PPK «Roskadastr» Retrieved from <https://cgkipd.ru/press-office/news/stali-dostupny-dlya-predostavleniya-utochnennye-koordinaty-punktov-ggs-v-msk/>.

Author details

Artem V. Kotelnikov – Director of the Surveying Department of the Surveying and Geodetic Works Directorate.

Vladimir I. Obidenko – Ph. D., Vice-rector for Secondary Professional Education, Director of Novosibirsk Technical School of Geodesy and Cartography.

Received 15.04.2025

© *A. V. Kotelnikov, V. I. Obidenko, 2025*