

УДК 528

https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/02

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРОЕКЦИИ И КООРДИНАТ ГАУССА–КРЮГЕРА
В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

©*Абжапарова Д. А.*, ORCID: 0009-0008-1388-5270, SPIN-код: 5334-9630,
Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, 0777859505@mail.ru
©*Мирмахмудов Э. Р.*, ORCID: 0000-0002-2389-6773, д-р геогр. наук, Национальный
университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан, erkin_mir@mail.ru
©*Токтосунов Ж.*, Ошский государственный университет,
г. Ош, Кыргызстан, geo-centre@bk.ru
©*Умаров У. О.*, Ошский государственный университет,
г. Ош, Кыргызстан, umaraly.mamyrov@mail.ru

**MODERN METHODS OF APPLYING PROJECTION
AND GAUSS–KRUGER COORDINATES IN ENGINEERING, GEODETIC
AND ARCHAEOLOGICAL RESEARCH**

©*Abzhaparova D.*, ORCID: 0009-0008-1388-5270, SPIN-code: 5334-9630,
Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, 0777859505@mail.ru
©*Mirmakhmudov E.*, ORCID: 0000-0002-2389-6773, Doctor of Geography sciences,
National University of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent, erkin_mir@mail.ru
©*Toktosunov Zh.*, Osh State University, Kyrgyzstan, Osh, geo-centre@bk.ru
©*Umarov U.*, Osh State University, Kyrgyzstan, Osh, umaraly.mamyrov@mail.ru

Аннотация. Проанализированы современные подходы к применению проекции и координат Гаусса–Крюгера в инженерно-геодезических и маркшейдерских исследованиях. Предложены рекомендации по выбору проекции и систем координат в зависимости от масштаба работ и требуемой точности. Цели исследования: разработка рекомендаций по выбору проекции и систем координат в зависимости от масштаба работ и требуемой точности. Проведен обзор существующих геодезических проекций и оценены их возможности для обеспечения необходимой точности при выполнении городских, строительных и горно-маркшейдерских работ на территории Кыргызской Республики. Рассмотрены основные ограничения проекции Гаусса–Крюгера, обусловленные линейными искажениями на краях зон и трудностями при высокоточных измерениях. Выявлены преимущества применения стереографических и локальных систем координат для проектирования, строительной разбивки и мониторинга смещений объектов. При разработке специальной проекции для инженерных городских геодезических работ необходимо тщательно исследовать вопросы искажений, удобства практического применения и связи с общегосударственной системой.

Abstract. This article analyzes modern approaches to the application of projections and Gauss–Kruger coordinates in engineering geodetic and surveying studies. Recommendations are proposed for selecting the appropriate projection and coordinate system based on the scale of work and the required accuracy. A review of existing geodetic projections was conducted, and their capabilities to ensure the necessary accuracy for urban, construction, and mining surveying tasks in the Kyrgyz Republic were evaluated. The main limitations of the Gauss–Kruger projection, caused by linear distortions at zone edges and difficulties in high-precision measurements, are discussed. The study identified advantages of using stereographic and local coordinate systems for design, construction

layout, and object displacement monitoring. In developing a specialized projection for engineering urban geodetic work, it is necessary to thoroughly investigate distortion issues, ease of practical application, and its compatibility with the national coordinate system.

Ключевые слова: топографическая съёмка, координаты, проекция Гаусса–Крюгера, стереографическая проекция, погрешность, горные районы, тоннель, перевал, геодезическая сеть.

Keywords: topographic survey, coordinates, Gauss–Kruger projection, stereographic projection, accuracy/error margin, mountainous areas, tunnel, pass, geodetic network.

Современное развитие геоинформационных технологий и методов точных измерений значительно повысили возможности инженерной геодезии, топографической съёмки и археологических исследований. Одним из ключевых инструментов в этих областях являются системы координат и картографические проекции, обеспечивающие точное определение положения объектов и обработку пространственных данных. Важное место среди таких проекций занимает проекция Гаусса–Крюгера, широко используемая в ряде стран для преобразования географических координат в плоские системы, пригодные для инженерных задач и подготовки карт [1].

Выбор подходящей проекции и системы координат является критическим этапом в современных геодезических работах, особенно учитывая особенности рельефа, масштабы проектов и требования к точности. В горных районах, городских условиях и при строительстве в сложной топографии особую сложность представляют необходимости минимизации ошибок и искажений. В связи с этим актуально применять различные системы и проекции, такие как стереографическая, Гаусса–Крюгера и локальные координатные системы, каждая из которых обладает своими преимуществами и ограничениями [2].

Цель исследования анализ современных методов применения проекции Гаусса–Крюгера и альтернативных проекций в инженерно-геодезических и маркшейдерских исследованиях [3].

Особое внимание уделяется оценке преимуществ и недостатков данных методов при выполнении работ в горных условиях и городских территориях, а также при проектировании туннелей, перевалов, геодезических сетей и объектов инфраструктуры. В исследовании рассматриваются вопросы погрешностей, вызванных искажениям и особенностям выбранных систем, а также способы их минимизации для обеспечения высокой точности. Проводимый анализ позволит разработать рекомендации по выбору наиболее подходящей проекции и системы координат в зависимости от масштаба и характера конкретных задач. Значительное внимание уделяется вопросам применения систем в условиях сложного рельефа Кыргызской Республики, что требует учета локальных условий и специфики проектируемых объектов.

Результаты исследования будут способствовать повышению точности геодезических измерений, оптимизации методов обработки данных и более эффективной интеграции геодезической сети с национальной системой координат. Таким образом, статья вносит вклад в развитие современных геодезических технологий и их практического применения в инженерных и научных работах.

Материалы и методы исследования

Произведен обзор литературных источников и систематический анализ существующих научных публикаций, нормативных документов и методических рекомендаций по применению

геодезических проекций и координатных систем, что позволило определить текущий уровень технологий и практических решений в области.

Выполнено математическое моделирование и оценка искажений, типичных для проекции Гаусса–Крюгера и стереографических проекций, с учетом особенностей рельефа, зон и масштаба исследования. Использовались формулы для оценки линейных и угловых искажений, а также методов численного анализа. Проведены эмпирические измерения и экспериментальные работы, полевые геодезические измерения в различных условиях.

Результаты и обсуждение

Прежде чем приступить к решению этой задачи, рассмотрим современную практику применения проекции и координат Гаусса–Крюгера в инженерных городских геодезических и маркшейдерских работах. С развитием инженерно-геодезических и городских работ недостатки системы координат Гаусса–Крюгера привели к тому, что ее стали постепенно заменять условными местными системами прямоугольных координат, которые более или менее отвечали требованиям градостроительной и маркшейдерской практики на территории Кыргызстана [4].

Кратко проследим современную практику применения проекции и системы координат в главных областях инженерной деятельности, в частности: в инженерно-геологических и геофизических работах; в гидро-энерго-строительстве; в градостроительстве; в промышленном и гражданском строительстве; в горно-маркшейдерских работах. При инженерно-геологических и геофизических работах Кыргызстана сравнительно невысокая относительная точности, порядка 1:1000-1:1500, производимых геологических и геофизических работ позволяет применять проекцию и координаты Гаусса–Крюгера независимо от расположения исследуемого участка от осевого меридиана 3-х или 6° зоны. Однако, предъявляемые требования к точности инженерно-геодезических и съемочных работ, выполняемых в масштабах 1:2000-1:500 для инженерной геологической практики коренным образом меняют постановку вопроса о выборе целесообразной проекции [5, 6].

Примем предельную графическую точность m_D топографической съемки для точки D (Рисунок), определяемой из геодезической привязки, тогда, следуя рассуждениями среднюю квадратическую ошибку точки к сети сгущения, как опорной, в худшем случае нужно иметь в два раза меньшую, чем m_D , т.е.

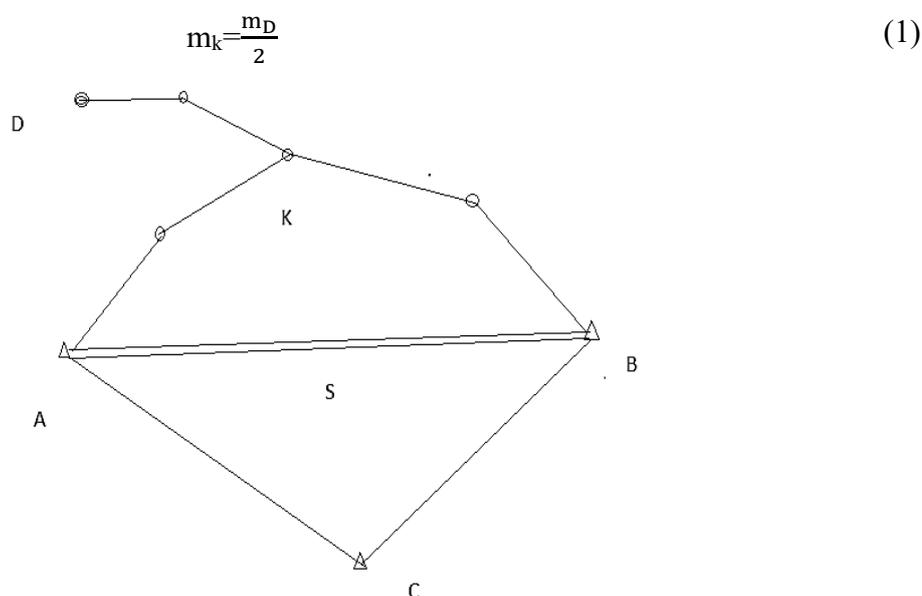


Рисунок. Топографической съемки для точки D

При соблюдении такого требования в государственной геодезической сети (пункты А, В, С) необходимо иметь точность в 2-3 раза выше, чем точность развиваемой сети сгущения, поскольку она предназначена не только для топографической съемки, но и для целого ряда геодезических измерений, выполняемых для проектных и строительных работ. Следовательно,

$$m_B = m_s = \frac{m_k}{z} = \frac{m_D}{4} \quad (2)$$

где m_s — средняя квадратическая ошибка в длине стороны триангуляции, приравненная к ошибке определения пункте. Таким образом согласно инструкции для последней ступени съемки в масштабе 1:500 при точности построения топографической основы геологических карт равной $\pm 0,3$ мм, имеем $m_D = 0,15$ м, $m_k = 0,075$ м, $m_s = 0,038$ м.

Другими словами, самая слабая сторона триангуляции 4 класса длиной 2 км должна определяться с относительной ошибкой $\frac{m_s}{4} = \frac{0,038}{2000} = \frac{1}{50000}$. Относительная ошибка сети сгущения, проложенной между пунктами триангуляции 4 класса, определяется по формуле:

$$\frac{1}{N} = \frac{2m_k}{2500} = \frac{1}{17000} \quad (3)$$

Для съемочного обоснования, при длине теодолитного хода между точками полигонометрии равной 0.5 км, получим $\frac{1}{N} = \frac{2m_D}{d} = \frac{2 \times 0,15}{500} = \frac{1}{1700}$

Откуда следует, что если пользоваться численными результатами съемок в проекции Гаусса-Крюгера, то при выносе проектов инженерно-геологических объектов в натуру мы должны и углы, рассчитанные по координатам, вводить поправки за переход с плоскости на эллипсоиде. Это, конечно, доставляет больше неудобства в вычислениях. Поэтому, чтобы избежать этого на практике весьма часто пользуются местной системой координат [7].

В гидро-энергостроительстве планы выполняются в масштабе 1:5000-1:500 либо в проекции Гаусса-Крюгера в 30-х зонах, либо в местной системе координат. В зависимости от вида за проектированного гидротехнического сооружения определяется и рассчитывается точность инженерно-геодезических работ, которая согласно инструкциям по инженерно-геодезическим работам для гидротехнического строительства достаточно высокая и составляет от 20 до 1 мм. Точность обычных геодезических сетей в таких случаях не всегда удовлетворяет указанному допуску. Поэтому для этих целей используется специальная гидротехническая триангуляция трех разрядов. Особенность ее заключается в том, что при наличии коротких сторон сети, она обеспечивает получение длин сторон, углов и координат с высокой степенью точности. Показывают результаты исследований точности государственной геодезической сети Кыргызстана, что относительная ошибка наиболее слабой стороны гидротехнической триангуляции находится в пределах от 1:70000 до 1:200000. Государственное обоснование не может представить исходных данных для указанной сети специального назначения, т.к. ошибки этих данных одного порядка с соответственно ошибками измерения наиболее ответственных сторон. Следовательно, чтобы не вносить ошибок исходных данных в сети специального назначения, государственные геодезические сети Кыргызстана должны иметь относительные ошибки слабо определенных сторон от 1:40000 до 1:400000.

Поэтому геодезические сети гидротехнической триангуляции следует создавать на собственных базисах, используя лишь ориентировку направлений и координаты одного из пунктов государственной геодезической сети. Высокоточная гидротехническая геодезическая сеть должна обрабатываться в такой проекции которая дала бы неощутимые искажения расстояний и редукации углов.

По этой причине вопросы целесообразного выбора поверинности относимости и осевого меридиана в гидро-энергостроительстве имеют большое принципиальное значение. Так, к примеру, при обработке высокоточный гидротехнический триангуляции 2 разряда, выполненной автором для строительства высокогорного Кировского водохранилища в территории Кыргызстана, пришлось вообще отказаться от проекции Гаусса-Крюгера, поскольку длина плотины в 257 м, вычисленная в ней, на 50 мм больше действительной, а отводного тоннеля длиной 360 м, соответственно на +68 мм.

По Токтогульской ГЭС соответствующие величины значительно больше. Естественно, что на практике при использовании геодезических данных, если они вычислены в проекции Гаусса-Крюгера, в проектировании и строительстве возникают определенные трудности. Для проектирования и строительства городов согласно СНиП КР 10-01:2017 необходимо иметь топографические карты и планы в масштабов 1:10000-1:500. Настоящие строительные нормы определяют основные требования, предъявляемые на территории Кыргызстана к составу и содержанию материалов, порядку разработки, рассмотрения, согласования и утверждения всех стадий градостроительной документации. Из всех перечисленных картаграфических материалов карты и планы масштабов 1:10000-1:5000 выполняются обычно в проекции и по координатам Гаусса-Крюгера, а остальные либо в условной, либо в местной системе координат. Чтобы обеспечить точность изображаемых предметов городских территорий со сложным надземным и подземным хозяйством в поледней стадии съемок в масштабе 1:500, необходимо определять точки съемочных ходов со средней квадратической ошибкой $\pm 0,2$ мм на плане что соответствует $m_d = \pm 0,10$ м на местности. Очевидно, созданное постоянное обоснование такой точности будет достаточным при решении многих инженерно-технических задач градостроительства.

Перенесение в натуру проектов планировки и застройки городов производится действием обратным съемке местности. Геодезические разбивочные работы в большинстве случаев по точности в несколько раз выше точности работ, производимых при съемке. Для обеспечения разбивки, а также для контроля ее необходимо, чтобы положение пунктов разбивочной опорной сети было определено с точностью в 2 раза больше той которая принята при разбивке сооружений. Поэтому предельная относительная ошибка взаимного положения пунктов плановой опорной сети в последней стадии должна быть принята соответственно 1:5000, что соответствует 2 разряду по классификации городской полигонометрии. Созданное плановое обоснование такой точности в системе координат Гаусса-Крюгера во многих случаях практики городских работ потребует обратного перехода к натуральным значениям длин сторон и углов. В противном случае, при выполнении инженерно-геодезических работ с относительной ошибкой выше 1:2500 для разбивки уникальных сооружений и коммуникаций потребуются специальные локальные сети ограниченного распространения, или на собственных базисах, измеренных с высокой степенью точности без введения каких-либо поправок в длины сторон и углов. Геодезические съемки территорий промышленных предприятий, за исключением специальных объектов, по методу выполнения близки к городским крупномасштабным. Следовательно, точность триангуляции, полигонометрии и сетей сгущения одинаковой с рассчитанной для градостроительства. Относительные невязки теодолитных ходов не должны превышать 1:2500 при максимальной длине хода 0,5 км.

Однако при современных методах строительства из сборных конструкций и элементов требуется наибольшая точность при разбивке зданий по сравнению с точностью разбивки кирпичных сооружений. В связи с этим, требования промышленного и гражданского строительства к инженерно-геодезическим работам увеличиваются и как следствие этого, чаще возникает потребность в создании специального высокоточного геодезического

обоснования. Поэтому много проектные и строительные организации пользуются топографическими планами масштабов 1:2000-1:500 и аналитическими данными в условной или местной системах координат, так как размеры крупнейших сооружений длиной более 1 км вынесенные в натуру по геодезическому обоснованию в проекции Гаусса-Крюгера, на краю 3°-х зон увеличиваются до 20 см, что значительно превышает технические допуски в строительстве. В горно-маркшейдерских работах Кыргызстана гораздо чаще, чем в других из-за отсутствия исходных данных и значительных искажений проекции Гаусса-Крюгера, применяется условная система координат, приведенная к средней уровенной поверхности участка горных работ. Так к примеру, если использовать плановое обоснование для автодорожного тоннеля Тоо-Ашуу по трассе Бишкек-Ош, длиной 2370 м в проекции Гаусса-Крюгера, то для края 3°-й зоны ($y = 120$ км) под широтой 45°, получим $\Delta S_{3^\circ} = S \frac{y^2 m}{2R^2 m} = S \frac{1}{5000} = 0,474$ м.

А если учесть широкий размах горно-маркшейдерских работ (например, строительство тоннеля через перевал Кок-Арт длиной 3,8 км в Кыргызстане. Всего на объекте пройдено 3 861,9 м из 3 890), то станет ясным и вопрос несоответствия между точностью специального обоснования и искажениями проекции. При исследованиях была выбрана реально существующая территория в Кыргызской Республике, а именно, район высокогорного тоннеля Тоо-Ашуу и Кок-Арт. Знаменитый перевал Тоо-Ашуу находится в горах Ала-Тоо на стратегической трассе Бишкек-Ош, которая соединяет северные и южные регионы Кыргызстана. Высота перевала — 3 400 м над у м [7].

А также тоннеля Кок-Арт находится на границе Тогуз-Тороуского и Сузакского районов, на 334-338 км альтернативной дороги Север-Юг. Согласно требованиями, предъявляемым к строительству и эксплуатации горных предприятий устанавливается классификация локальных геодезическо-маркшейдерских сетей по типу гидротехнической триангуляции с относительной ошибкой слабо определяемой стороны 1:70000-1:200000. Подобная триангуляция, создаваемая для контроля неподвижности пунктов, от которых ведутся наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями сооружений должна обеспечивать положения этих пунктов со средней квадратической ошибкой не более $\pm 3-5$ мм. Допуски смещений сооружений рассчитываются в зависимости от ожидаемых величин оседаний и горизонтальных с движений.

Таким образом, этот краткий обзор современной практики инженерно-геодезических и маркшейдерских работ по применению проекции и координат Гаусса-Крюгера показывает, что без перерасчета топографо-геодезических данных из государственной системы координат, особенно на краях зон, в непосредственно измеренные величины, этими данными пользоваться нельзя. Вследствие с этим, на территориях крупнейших строителей и городов со сложным наземным и подземным хозяйством, топографические и инженерно-геодезические работы в территории Кыргызстана выполняются на специальной геодезической основе и эти материалы обрабатываются в местных системах, причем такие работы зачастую занимают значительные территории. В целях правильного и полного использования геодезических и маркшейдерских измерений и съемок, выполняемых проектными и строительными организациями, необходимо упорядочить вопрос с единой проекции и системе координат для этих видов работ.

Список литературы:

1. Абжапарова Д. А. Математическая обработка инженерно-геодезических сетей в стереографической проекции Гаусса // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2014. №2(26). С. 27-32.

2. Виноградов А. В., Мазуров Б. Т. Использование специальных геодезических проекций и местных систем координат // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. №1. С. 130-134.
3. Абжапарова Д. А. Разработка специальной конформной геодезической проекции для маркшейдерских работ в условиях Кыргызстана // Вестник Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева. 2015. №4(107). С. 91–99.
4. Абжапарова Д. А. Обработка специальной геодезической сети в проекции на секущую плоскость (на примере Кировского водохранилища в Кыргызской республике) // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2016. №2(34). С. 14–23.
5. Герасимов А. П., Назаров В. Г. Местные системы координат. М.: Проспект, 2010. 64 с.
6. Виноградов А. В. Об установлении единой координатной системы в геодезических работах // Геодезия и картография. 2010. №5. С. 16-18.
7. Абжапарова Д. А. Разработка оптимальной геодезической проекции для новой системы координат в условиях Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. №8. С. 79–84.

References:

1. Abzharova, D. A. (2014). Matematicheskaya obrabotka inzhenerno-geodezicheskikh setei v stereograficheskoi proektsii Gaussa. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii)*, 2 (26), 27-32. (in Russian).
2. Vinogradov, A. V., & Mazurov, B. T. (2017). Ispol'zovanie spetsial'nykh geodezicheskikh proektsii i mestnykh sistem koordinat. *Interekspo Geo-Sibir'*, (1), 130-134. (in Russian).
3. Abzharova, D. A. (2015). Razrabotka spetsial'noi konformnoi geodezicheskoi proektsii dlya marksheiderskikh rabot v usloviyakh Kyrgyzstana. *Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta im. L. N. Gumileva*, (4(107)), 91–99. (in Russian).
4. Abzharova, D. A. (2016). Obrabotka spetsial'noi geodezicheskoi seti v proektsii na sekushchuyu ploskost' (na primere Kirovskogo vodokhranilishcha v Kyrgyzskoi respublike). *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii*, 2(34), 14–23. (in Russian).
5. Gerasimov, A. P., & Nazarov, V. G. (2010). *Mestnye sistemy koordinat*. Moscow. (in Russian).
6. Vinogradov, A. V. (2010). Ob ustanovlenii edinoi koordinatnoi sistemy v geodezicheskikh rabotakh. *Geodeziya i kartografiya*, (5), 16-18. (in Russian).
7. Abzharova, D. A. (2017). Razrabotka optimal'noi geodezicheskoi proektsii dlya novoi sistemy koordinat v usloviyakh Kyrgyzstana. *Vestnik KRSU*, 17(8), 79–84. (in Russian).

Поступила в редакцию
05.01.2026 г.

Принята к публикации
11.01.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Абжапарова Д. А., Мирмахмудов Э. Р., Токтосунов Ж., Умаров У. О. Современные методы применения проекции и координат Гаусса–Крюгера в инженерно-геодезических и маркшейдерских исследованиях // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №3. С. 22-38. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/02>

Cite as (APA):

Abzharova, D., Mirmakhmudov, E., Toktosunov, Zh., & Umarov, U. (2026). Modern Methods of Applying Projection and Gauss–Kruger Coordinates in Engineering, Geodetic and Archaeological Research. *Bulletin of Science and Practice*, 12(3), 22-28. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/124/02>